

RONALDO DE OLIVEIRA CUSTÓDIO FILHO

**RECUPERAÇÃO E MONITORAMENTO DE VOÇOROCA EM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO NO MUNICÍPIO DE BALIZA, GO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientadora:

Profa. Vladia Correchel

Goiânia, GO – Brasil

2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
(GBT/BC/UFG)**

C987r Custódio Filho, Ronaldo de Oliveira.
Recuperação e monitoramento de voçoroca em Neossolo
Quartzarênico no município de Baliza, GO [manuscrito] /
Ronaldo de Oliveira Custódio Filho. - 2011.
98 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Profa. Vladia Correchel
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,
Escola de Agronomia, 2011.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, tabelas, siglas, abreviaturas e
símbolos.

1. Voçorocas - Baliza (GO). 2. Solo Arenoso -
Degradação. 3. Voçorocas - Custo de recuperação. I. Título

CDU: 551.435.162(817.3)

TÍTULO: "Recuperação e monitoramento de voçoroca em Neossolo
Quartzarênico no Município de Baliza, GO".

Dissertação DEFENDIDA em 17 de agosto de 2011, e APROVADA pela
Banca Examinadora constituída pelos membros:



Prof. Dr. Huberto José Kliemann
EA/UFG



Prof. Dr. Rildo Aparecido Costa
FACIP - UFU/MG



Prof.ª. Dr.ª. Vládia Correche
Orientadora - UFG/EA



UFG
Goiânia - Goiás
Brasil

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo;

A Universidade Federal de Goiás e a Escola de Agronomia, por me permitirem cursar esta pós-graduação;

A professora Dr^a. Vladia Correchel, pela orientação, ensinamentos e paciência;

Aos professores Dr. Huberto José Kliemann, Dr. Wilson Leandro Mozena, Dr. Nori Paulo Griebeler, Dr. Alfredo Borger de Campos e a Dr^a. Selma Simões de Castro, pela generosidade na transmissão de seus conhecimentos;

Aos membros da banca examinadora Dr.^a Vladia Correchel, Dr. Huberto José Kliemann e Dr. Rildo Aparecido Costa, pelo tempo concedido, paciência e colaboração;

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

Aos amigos e colegas Felipe Côrrea Veloso dos Santos, Idelfonso Colares de Freitas, Nara Rúbia de Moraes, Elenilson (Kri), Carlinhos, pelo companheirismo e auxílio em todas as horas;

Aos estagiários e alunos da Escola de Agronomia, pela ajuda na execução das tarefas;

A todos estes, meus sinceros agradecimentos.

DEDICATÓRIA

Dedico a

A Santíssima Trindade, Pai, Filho e Espírito Santo, por tudo;

A Nossa Senhora Aparecida, pela intercessão;

A minha família, meu pai, mãe, irmã, tios, tias, primos e primas, para todos esses, a minha gratidão.

“Em tudo, dai graças, porque esta é a vontade de Deus em Cristo Jesus para convosco.”

I Tessalonicenses 5:18

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
ÍNDICE DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	17
2.1.1 Gênese e Classificação	17
2.1.2 Fertilidade	19
2.1.3 Características Físico-hídricas	20
2.1.4 Movimento de metais pesados	24
2.1.5 Taxas de erosão hídrica e erodibilidade	25
2.1.6 Avaliação e Aptidão Agrícola	26
2.2 DEFINIÇÕES E MECANISMOS DE FORMAÇÃO DA EROSIÃO HÍDRICA	31
2.3 TIPOS E CLASSIFICAÇÕES DAS VOÇOROCAS	35
2.4 GENÉTICA E EVOLUÇÃO DE VOÇOROCAS	38
2.5 PREVENÇÃO, IMPACTOS E CONTROLE DE VOÇOROCAS	42
2.6 CUSTOS ECONÔMICOS ASSOCIADOS AOS IMPACTOS DE PROCESSOS EROSIVOS	48
2.7 CUSTOS COM A RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCAS	55
3 MATERIAL E MÉTODOS	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA	67
4.2 CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA	73
4.2.1 Tipo de Uso e Nível de manejo adotado na Terra	73
4.2.2 Condição Agrícola da Terra	73
4.2.3 Viabilidade de Melhorias da Condição Agrícola da Terra	77
4.2.4 Classe de Aptidão Agrícola	79

5	POLUIÇÃO POR METAL PESADO	79
6	CUSTEIO DA RECUPERAÇÃO DA VOÇOROCA	81
7	CONCLUSÕES	89
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de cessões transversais de voçorocas (Adaptado de FAO, 1986).....	37
Figura 2. Voçorocas conectadas e desconectadas a rede de drenagem (Adaptado de Casseti, 2005).....	37
Figura 3. Estágios de desenvolvimento de uma voçoroca (Adaptado de Morgan, 1996).....	39
Figura 4. Erosão por queda d'água (FAO, 1986).....	40
Figura 5. Fatores geomorfológicos que atuam no escoamento da água e podem propiciar as voçorocas (Adaptado de Casseti, 2005).....	41
Figura 6. Seguimentos distintos da voçoroca.....	44
Figura 7. Esquema de práticas de contenção de voçorocas (Bertolini & Lombardi Neto, 1994).....	45
Figura 8. Representação da voçoroca.....	61
Figura 9. Práticas mecânicas para a recuperação da voçoroca.....	62
Figura 10. Práticas edáficas e vegetativas para conservação do solo.....	63
Figura 11. Perfil de solo descrito no talude da voçoroca (a) e amostras de solo coletadas nos horizontes A, AC e C (b).....	69
Figura 12. Pastagem degradada com presença de sulcos erosivos.....	75
Figura 13. Condição da voçoroca “antes” e “após” a intervenção e sua condição atual.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos erosivos. (Adaptado de Camapum de Carvalho, 2006).....	35
Tabela 2. Classes de tamanhos de voçorocas.....	35
Tabela 3. Exemplos de danos <i>on-site</i> e <i>off-site</i> associados com a erosão hídrica (Marshall et al., 1999).....	52
Tabela 4. Descrição Geral da área de estudo.....	68
Tabela 5. Descrição morfológica do perfil descrito.....	68
Tabela 6. Valores médios de características físicas do solo.....	69
Tabela 7. Argila Total (AT), Natural (NA) e Grau de Floculação do solo.....	70
Tabela 8. Valores médios da porcentagem de agregados estáveis por classe de diâmetro.....	71
Tabela 9. Valores médios de óxidos de silício (SiO ₂), ferro (Fe ₂ O ₃) e alumínio (Al ₂ O ₃).....	72
Tabela 10. Valores médios de fertilidade do solo.....	74
Tabela 11. Erodibilidade do solo.....	75
Tabela 12. Valor da erodibilidade para cada grau de limitação.....	75
Tabela 13. Umidade volumétrica e água disponível para cada horizonte do solo.....	76
Tabela 14. Valores de Condutividade hidráulica saturada.....	77
Tabela 15. Classe de Aptidão Agrícola do solo.....	79
Tabela 16. Teores médios de metais pesados na água da voçoroca.....	80
Tabela 17. Custos de estabilização da voçoroca.....	82
Tabela 18. Custos das práticas vegetativas.....	84
Tabela 19. Custos das práticas edáficas.....	84
Tabela 20. Custos das práticas mecânicas e isolamento da voçoroca.....	85

ÍNDICE DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

N - Nitrogênio

P - Fósforo

K - Potássio

Ca - Cálcio

Mg - Magnésio

CTC - Capacidade de troca de cátions

Ds - Densidade do solo

Dp - Densidade de partículas

VTP - Volume total de poros

DMG - Diâmetro médio geométrico

DMP - Diâmetro médio ponderado

GF - Grau de flocculação

AN - Argila natural (obtida por dispersão em água).

AT - Argila total (obtida por dispersão com solução de NaOH)

AMG - areia muito grossa (2-1mm)

AG - areia grossa (1-0,5mm)

AM - areia média (0,5-0,25mm)

AF - areia fina (0,25-0,1mm)

AMF - areia muito fina (0,1-0,05mm)

CC - umidade volumétrica em capacidade de campo (CC), obtido em tensão de 0,06 kPa

PMP - umidade volumétrica em ponto de murcha permanente, obtido em tensão de 1515 kPa

Ki - Relação molecular $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$

Kr - Relação molecular $\text{SiO}_2 / \text{R}_2\text{O}_3$

K - Valor do índice de erodibilidade estimado pelo método de Wischmeier (1971)

M - Soma da % de silte e areia muito fina, multiplicada por 100 menos a % de argila

MO - Teor de matéria orgânica (%)

EST - Código correspondente à estrutura

PER - Código correspondente à permeabilidade

RESUMO

CUSTÓDIO FILHO, R. O. **Recuperação e monitoramento de voçoroca em Neossolo Quartzarênico no município de Baliza, GO.** 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.¹

A classificação do solo é uma ferramenta importante na ordenação de seu uso e manejo, reduzindo a possibilidade deste recurso ser usado acima ou aquém de sua capacidade de suporte, sendo, deste modo, um mecanismo de sua conservação. Contrapondo, com a conservação do solo, as voçorocas se constituem na forma mais grave da erosão e são geradas pela concentração do escoamento superficial em sulcos erosivos, que se expandem e formam grandes incisões. Esta forma de degradação do solo tem vários exemplos citados na literatura, o que a caracteriza como sendo abrangente. Deste modo, o desenvolvimento de tecnologias para a recuperação e/ou estabilização de voçorocas a baixo custo, com uso de materiais alternativos para que esta prática tenha maior viabilidade econômica, se faz necessário. No presente trabalho, o método utilizado na recuperação desta erosão foi o uso de pneus inservíveis como material para seu preenchimento, bem como uso de práticas mecânicas, vegetativas e edáficas de conservação do solo. Foi realizada a avaliação desta técnica de recuperação, bem como as classificações taxonômica, pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 2006) e técnica, pelo Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola dos Solos (Ramalho Filho & Beek, 1995), do solo de um lote de Assentamento de Reforma Agrária, no município de Baliza – GO, que se encontra degradado, e passa por processo intenso de erosão linear, tanto por sulco quanto voçoroca. A classificação deste solo demonstrou ser uma ferramenta importante para determinar suas limitações e seu melhor uso e manejo. Com esta ferramenta, foi possível determinar as severas limitações que este solo apresenta para o uso agrícola, bem como, inferir a respeito do baixo nível tecnológico sob o qual este solo é manejado que está levando-o a sua degradação. Apesar da adoção de uma técnica alternativa de recuperação, foi despendido um grande montante econômico para a estabilização da erosão, o que evidenciou a gravidade deste problema. A técnica adotada mostrou-se eficiente para conter o avanço da erosão. Apesar da estabilização desta erosão ter tido o envolvimento de moradores do local, depois de finalizada a intervenção, os mesmos não continuaram a adotar as práticas de conservação do solo recomendadas. Assim, a falta de manutenção na área estabilizada por parte dos agricultores vizinhos à voçoroca pode propiciar o surgimento de novos processos erosivos nessa área.

Palavras-chave: Custo de recuperação, degradação do solo, solo arenoso

¹ Orientadora: Profa. Vladia Correchel

ABSTRACT

CUSTÓDIO FILHO, R. O. **Recovery and monitoring of a gully in an Entisol Quartzipsamment in the city of Baliza, GO.** 2011. 97 f. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.¹

Soil classification is a valuable tool in the ordination of its use and management, reducing the potential of this resource be used above or below its support capacity, and, thus, is a mechanism for its conservation. Contrasting with the conservation of soil, gullies are the most serious form of erosion and are generated by the concentration of runoff in rills, which expand and form large incisions. This form of soil degradation has several examples in the literature, which characterizes it as being an extensive problem. Thus, the development of technologies for the recovery and / or stabilization of gullies at low cost by using alternative materials so this practice has greater economic viability, is required. In this paper, the method used in the recovery of this erosion was the use of scrap tires as materials for its fill as well as use of mechanical, vegetative and soil management practices for its conservation. It was proceeded the evaluation of this recovery technique, and both the taxonomic classification of this soil, by Brazilian System of Soil Classification (Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, Embrapa, 2006) as the technique classification, by the Evaluation System of Agricultural Soil Suitability (Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola dos Solos, Ramalho Filho & Beek, 1995) of a soil of a lot of Agrarian Reform Settlement, in the city of Baliza – GO. This soil is degraded, and goes through an intensive process of linear erosion, both by rill as for gully erosion. The classification of this soil proved to be a valuable tool to determine its limitations and better use and management. With this tool was possible to determine the severe limitations that this soil have for agricultural use, as well as infer about the low level of technology under which this soil is handled that is taking it to its degradation. The technique adopted to halt this gully was efficient to contain the progress of erosion. Despite the adoption of an alternative technique for recovery the soil, a large amount of money was spent for the stabilization of soil erosion, which showed the severity of this problem. Despite the stabilization of this erosion have had the involvement of local residents, after the end of this intervention, they did not continue to adopt the practices of soil conservation that were recommended. Thus, the lack of maintenance, by the neighboring farmers to gully erosion, in the stabilized area, may propitiate the emergence of new erosion in that area.

Keywords: Cost of recovery, soil degradation, sandy soil.

¹ Adviser: Profa. Vladia Correchel

1. INTRODUÇÃO GERAL

O objetivo dos sistemas de classificação científicos é o de organizar o conhecimento, facilitar o uso de grande número de objetos e conceitos, além de facilitar a comunicação. Os sistemas de classificação de solos variam de acordo com seus objetivos. Para objetivos práticos como o de selecionar o melhor solo para um tipo específico de uso, emprega-se um sistema interpretativo de classificação do solo. Já para fins de conhecimento básico, como entender o comportamento dos solos e o porquê eles comportam-se deste modo, emprega-se, então, um sistema de classificação natural ou taxonômico (Fanning & Fanning, 1989).

A classificação do solo pode ser, portanto, natural/taxonômica ou técnica/interpretativa, sendo esta capaz de possibilitar inferências sobre as limitações, potenciais e viabilidade (melhor uso) da terra. O Brasil possui um sistema de classificação taxonômica nacional que é o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 2006), sendo este sistema o mais empregado no âmbito nacional. As classificações interpretativas mais utilizadas no Brasil são o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho Filho & Beek, 1995) e o Sistema de Capacidade de Uso (Lepsch et al., 1991). Segundo Pereira e Lombardi Neto (2004), o Sistema de Aptidão Agrícola é o mais utilizado no Brasil e considera em sua estrutura, diferentes níveis de manejo, possibilitando a distinção da agricultura de alta e baixa tecnologia.

A classificação do solo reduz a possibilidade do solo ser sobreutilizado, usado acima de sua capacidade de suporte, ou subutilizado, usado aquém de sua capacidade de suporte. Para Pedron et al. (2006), a falta de conhecimento da aptidão de uso da terra e planejamento adequado de seu uso tem gerado degradação ambiental, sendo que os principais fatores relacionados a esta problemática são: a utilização inadequada dos recursos naturais e o desrespeito tanto da aptidão agrícola das terras como da legislação ambiental vigente.

Reconhece-se o valor da classificação do solo como mecanismo de sua conservação. Com a tendência atual de crescimento econômico do Brasil e aumento da pressão sobre os recursos naturais com a expansão da atividade agrícola, torna-se necessária a ordenação deste crescimento para evitar danos ambientais. A importância desta ordenação e racionalização do uso da terra é ainda maior, pois a expansão da atividade econômica ocorre muitas vezes em sistemas pedológicos frágeis de baixa resiliência que são postos a produzir de maneira intensiva acima de sua capacidade de suporte.

Um dos processos de degradação do solo mais importantes em regiões tropicais é o da erosão hídrica. Este processo consiste no desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, provocado pela água (Bertoni & Lombardi Neto, 2008) e que consiste de duas fases principais: o desprendimento de partículas individuais da massa do solo e seu transporte pelos agentes erosivos. Nas regiões tropicais a água assume grande importância enquanto agente erosivo. Quando não há energia suficiente disponível para o transporte das partículas, uma terceira fase, a deposição, ocorre (Morgan, 1996). A erosão, portanto, provoca o desgaste e modificação da superfície da terra, sendo influenciada por agentes erosivos (água e vento), cobertura vegetal, topografia e tipo de solo (Tavares et al., 2008).

Este processo pode ser tanto natural/geológico (quando não há interferência humana) ou antrópico/acelerado, quando a interferência do homem potencializa a ação adversa dos agentes erosivos sobre o solo (Tavares et al., 2008). A erosão pode ser classificada de acordo com seu agente gerador, sendo que em solos agrícolas (antropizados) das regiões tropicais a erosão hídrica, provocada pela chuva, é de grande relevância. De acordo com Camapum de Carvalho et al. (2006) a erosão pode ser classificada pelo seu estágio de desenvolvimento como superficial ou laminar, interna (*pippe*) e linear (sulco, ravina e voçoroca).

As voçorocas, ou boçorocas que, segundo Casseti (2005), seria a designação mais apropriada, considerando a derivação do Tupi-Guarani – *ib-çoroc*, que significa: terra rasgada; constituem-se na forma mais grave da erosão. São geradas pela concentração do escoamento superficial no mesmo sulco, que vai se expandindo e coalescendo, formando grandes incisões em extensão e profundidade (Bertoni & Lombardi Neto, 2008). São várias as classificações e definições encontradas na literatura internacional a cerca do tema. Radoane et al. (1995) compilaram várias destas classificações, sendo as mais importantes as seguintes: voçorocas são formas instáveis da paisagem, compõem a rede de drenagem,

apresentam incisão de um canal inclinado, muitas vezes com uma cabeceira escarpada e de crescimento rápido, canal com seção transversal em “V” (quando o subsolo é de textura fina de menor erodibilidade) ou em “U” (quando o subsolo tem maior erodibilidade), apresentam fluxo de água efêmero e não são destruídos por práticas agrícolas ordinárias.

As várias classificações e definições relacionadas às voçorocas se devem à pluralidade de condições que desencadeiam o fenômeno erosivo. Contudo, Selby (1993) destaca três processos principais que operam, individualmente ou em conjunto, na formação de voçorocas, são estes: fluxo superficial, movimento de massa e o *piping*. O principal agente potencializador de voçorocamentos é o excesso de água, condição que pode ser causada por fenômenos climáticos ou mudanças no uso do solo. O primeiro caso ocorrerá tanto pelo o aumento do *runoff* (= enxurrada) devido à maior quantidade de chuva, quanto pela menor quantidade de chuva, que reduzirá a cobertura do solo pela vegetação. No segundo caso, desmatamento, queimadas, super-pastejo podem gerar maior *runoff*. Se a velocidade do *runoff* exceder a resistência tênsil dos agregados do solo, ocorrerá o surgimento de incisões erosivas (Selby, 1993).

Para Valentin et al. (2005) as voçorocas não ocorrem somente em solos pobres, em regiões de topografia movimentada ou em solos dispersíveis e susceptíveis ao *piping*. Na maioria das vezes, estes processos surgem pelo cultivo e irrigação inapropriados, super-pastejo, trilha de máquinas agrícolas, construção de estradas e urbanização. Ainda, segundo os autores, as mudanças no uso do solo têm maior impacto sob processo de voçorocamento do que as mudanças climáticas. De acordo com os resultados encontrados por Valentin et al. (2005) e Dotterweich et al. (2001), ao se associar as mudanças de uso do solo (desmatamento e sobre-utilização do solo) com períodos de chuvas extremas, observa-se maior surgimento de voçorocas para um mesmo período.

A intensidade da ocorrência deste fenômeno é retratada através da literatura. Radoane et al. (1995) mapearam 9.000 voçorocas em uma área de 25.000 km², na Romênia. Nascimento (1994) mapeou 45 voçorocas em Goiânia (GO), em 801 km². Santana et al. (2007) encontraram 304 feições erosivas na alta bacia do Rio Araguaia (GO e MT), com área de 62.000 km².

Os exemplos citados caracterizam o problema como sendo abrangente e numeroso. Portanto, é preciso desenvolver tecnologias de recuperação e, ou, estabilização de voçorocas de baixo custo e com uso de materiais alternativos para que esta prática tenha maior viabilidade econômica. Andrade et al. (2005), Machado et al. (2010) descrevem

metodologias de contenção de voçorocas à baixo custo, baseadas no controle da erosão na área de contribuição da voçoroca pela revegetação ou pelo aumento da retenção de sedimentos na parte interna das voçorocas pelo uso de materiais de baixo custo.

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação da eficiência, bem como os custos despendidos com a recuperação de um passivo ambiental (voçoroca) em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, sob pastagem degradada, que ocorreu em um lote de Assentamento de Reforma Agrária no município de Baliza – GO. Realizou-se, também, a classificação, técnica e taxonômica, deste solo para determinar a viabilidade agronômica e ambiental do uso e manejo atuais deste solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. NEOSSOLOS QUARTZARENICOS

2.1.1 Gênese e Classificação

Os NEOSSOLOS, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), são solos pouco evoluídos e com ausência de horizonte “B” diagnóstico. A etimologia do termo NEOSSOLO é caracterizada pelo radical grego “*neo*” que denota solo jovem e indica pequeno desenvolvimento. A base para a classificação de um solo nesta referida classe, é que o solo deve estar em via de formação, devido à reduzida atuação de processos pedogenéticos ou por características inerentes ao seu material de origem. Assim, esta classe de solo tem como critério de classificação a insuficiência de atributos diagnósticos que caracterizam sua pedogênese; pouca diferenciação entre horizontes, com o horizonte “A” sucedido pelo horizonte “C” ou “R”; e predomínio de características provenientes do material de origem. Ainda, são solos que podem ser constituídos por material mineral ou até material orgânico pouco espesso, não mais que 20 cm de espessura (Embrapa, 2006).

Sucedendo a classificação do primeiro nível categórico (Ordem), que foi descrita acima, os NEOSSOLOS são classificados, no segundo nível categórico (subordem), em: LITÓLICOS, REGOLÍTICOS, FLÚVICOS, e QUARTZARÊNICOS. Os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS não apresentam contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, tem sequência de horizontes A – C e apresenta textura areia ou areia franca em todos os horizontes; e possuem fração areia grossa e areia fina com 95% ou mais de quartzo e com ausência de minerais primários alteráveis (Embrapa, 2006).

No terceiro nível categórico (grande grupo) os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS podem ser classificados em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico ou NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico. Os NEOSSOLOS

QUARTZARÊNICOS Órticos típicos representam o conceito central da classe, contudo existem os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos intermediários, como: húmicos, fragipânico, solódico, eutrício, léptico, espódico, plíntico, gleissólico, latossólico e argissólico (Embrapa, 2006).

Os NEOSSOLOS ocupam uma área de 1.246.898,89 km², ou 14,57% do território brasileiro. Desta área, 54% é de ocorrência dos NEOSSOLOS LITÓLICOS, 42% dos QUARTZARÊNICOS e 2% para ambos, os FLÚVICOS e REGOLÍTICOS (IBGE, 2001). Os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS têm expressiva ocorrência na região Centro-Oeste do Brasil, englobando aproximadamente 15% de sua área total. Esta classe de solo apresenta sérias limitações ao uso agrícola, devido à textura excessivamente arenosa, baixa fertilidade, baixa capacidade de retenção de água e elevada erodibilidade com severos processos de erosão linear (Coelho et al., 2002).

A classificação equivalente do NEOSSOLO QUARTZARÊNICO para a *Soil Taxonomy* é o da classe dos *Entisols Quartzipsamments*. Os *Entisols* caracterizam-se, assim como os NEOSSOLOS, como solos predominantemente minerais, com pouca ou nenhuma evidencia de desenvolvimento de horizontes pedogenéticos. Muitos *Entisols* possuem epipedon ótrico, alguns, quando arenosos, apresentam horizontes álbicos (Fanning & Fanning, 1989).

As condições genéticas necessárias para a formação desta classe de solo são as que impõem fatores limitantes ao desenvolvimento de horizontes. As condições para a formação dos *Entisols* são as mais variadas, dentre estas podem ocorrer às seguintes: formação devido a condições climáticas que limitam a quantidade e duração de movimento de água no solo e a biota do solo; movimentos de massa ou outras formas de erosão que remova material superficial de um local a uma taxa igual ou superior a taxa de formação do solo; o processo de cumulização pode adicionar material novo à superfície do solo de maneira rápida, de modo que este material adicionado não possa ser integrado no horizonte pedogenético; a imobilização do plasma do solo em materiais inertes inibe a diferenciação do perfil por processo de iluviação; a resistência ao intemperismo de alguns materiais de origem, como os quartzitos, prolonga o período de indiferenciação dos horizontes; a infertilidade ou a toxicidade de alguns materiais de origem ao crescimento de plantas limita a diferenciação biogenética do perfil do solo; o curto espaço de tempo desde a exposição dos materiais de origem aos fatores ativos da formação do solo limitam o desenvolvimento do perfil; uma mudança recente e drástica sob os fatores bióticos podem

iniciar a formação de um perfil de solo diferenciado sobre um solo preexistente, que servirá como material de origem (Buol, 1973).

2.1.2 Fertilidade

Prado (2008), ao interpretar as características químicas de um perfil de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, constatou que os teores de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (CTC) são baixos mesmo no horizonte A, reduzindo em profundidade até ao horizonte C. Segundo Oliveira (2008), os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, cuja fração areia é constituída basicamente por quartzo, são solos desprovidos de minerais primários alteráveis, portanto, não possuem reservas de nutrientes para as plantas. Assim, a diminuta capacidade de adsorção destes solos implica em perda fácil de insumos aplicados e elevada taxa de mineralização da matéria orgânica.

Frazão et al (2008) avaliaram os efeitos de usos e manejos diferentes em NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS em ambiente de Cerrado. Os autores avaliaram o Cerrado Nativo, pastagem degradada, plantio convencional com diferentes sucessões de culturas e plantio direto. Constatou-se que os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS sob Cerrado Nativo e pastagem degradada apresentaram os menores valores de pH, fósforo disponível, potássio, cálcio e magnésio. Ainda, a aplicação de calcário nestes solos sob plantio convencional e direto elevaram as concentrações de cálcio, magnésio, além de corrigir a acidez e diminuir os teores de alumínio. Os autores concluíram que, embora o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO possua limitações devido a sua baixa fertilidade natural, se adequadamente manejado, este solo apresenta potencial para o cultivo agrícola.

Ao avaliar os atributos químicos de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO sob usos e manejos diferentes, Carneiro et al. (2009) concluíram que esses atributos não diferiram com os usos antrópicos (pastagem nativa, integração agricultura-pecuária, pastagem cultivada, plantio direto com soja no verão e plantio direto com milho no verão), contudo apresentaram valores contrastantes com o encontrado sob o Cerrado nativo, que em geral, apresentou os menores valores pois é uma área não adubada. Este solo apresentou-se ácido, dessaturado e com reduzidos valores de matéria orgânica (pH = 4,9; $H+Al = 3,8 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$, $Al^{3+} = 0,79 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; $Ca^{2+} = 0,13 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; $Mg^{2+} = 0,19 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; $K = 9,0 \text{ mg dm}^{-3}$; $P = 1,4 \text{ mg dm}^{-3}$; $COT = 8,8 \text{ g kg}^{-1}$; $CFL = 1,87 \text{ g kg}^{-1}$). O reduzido teor de cátions trocáveis no NEOSSOLO QUARTZARÊNICO pode ser atribuído

à baixa CTC deste solo e às perdas de nutrientes pouco retidos nos sítios de troca, devendo, assim, este solo ser manejado com critérios rigorosos, a fim de atingirem seu máximo potencial produtivo e sem provocar a sua degradação.

2.1.3 Características físico-hídricas

Os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, devido a sua textura arenosa, apresentam limitações no armazenamento de água disponível a plantas, com exceção dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Hidromórficos que estão sob influência do lençol freático elevado por grande período de tempo. A fração areia é de suma importância na retenção de água para esta classe de solo, já que quando há predomínio de areia fina ocorre uma melhor disponibilidade de água (Oliveira, 2008).

Costa et al. (2009), avaliaram a disponibilidade de água em um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO. Este solo apresentou, na camada de 0 a 0,40 m, as seguintes características físicas: 6,7; 112,8; 355,9; 253; 162,6; 40 e 69 g kg⁻¹ de, respectivamente areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila; densidade de 1,64 Mg dm⁻³, densidade de partículas de 2,55 Mg m⁻³ e porosidade total de 35%. Deste solo foram coletadas amostras simples, homogêneas e transformadas numa amostra composta com a seguinte composição granulométrica de 215, 283 e 502 g kg⁻¹ de respectivamente, argila, silte e areia; 1,38 e 2,30 Mg m⁻³ de densidade do solo e de partículas, respectivamente; e porosidade total de 40%. Os autores determinaram a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD), sendo a umidade na CC determinada através do extrator de Richards (potencial de -10 kPa) e pelo método de drenagem de coluna de solo, e o PMP obtido com o extrator de Richards (potencial de -1500 kPa) e pelo método de PMP fisiológico que utilizou o melão, tipo cantaloupe, híbrido Acclaim. Constataram que o PMP, pelo método fisiológico e pelo método de laboratório apresentaram pouca diferença, sendo o PMP fisiológico de 1,82% e o de laboratório de 1,32 %. Já a CC pelo método de laboratório foi inferior ao CC pelo método de drenagem de coluna de solo, sendo o primeiro da ordem de 6,08 % e o segundo de 16,35 %. O valor de água disponível pelo método de laboratório foi de 4,76 %; já pela diferença entre CC pelo método drenagem de coluna de solo com o PMP fisiológico, o valor de AD foi de 14,53 %. Destacam-se neste trabalho, as exíguas umidades de PMP, CC

e, conseqüentemente, AD, do NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, principalmente para umidades obtidas pelo extrator de Richards.

Sales et al. (2010) avaliaram as alterações dos atributos físico-hídricos de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico, em função de seu uso e manejo. O solo estudado apresentou textura de 144, 776, 37 e 43 g kg⁻¹, de areia grossa, areia fina, silte e argila, respectivamente; e densidade de partícula de 2,61 kg dm⁻³. Os autores avaliaram os seguintes sistemas de usos e manejos: pastagem, plantio direto de soja e milho, Integração agricultura-pecuária e cerrado nativo; e avaliaram os seguintes atributos físico-hídricos, para as profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm: densidade do solo, micro e macroporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado.

A densidade do solo foi menor em cerrado nativo, para as duas profundidades, 1,42 kg dm⁻³ para 0-10 cm e 1,41 kg dm⁻³ para 10-20cm. Os usos antropizados não diferiram significativamente entre si, e apresentaram maiores valores de densidade do solo, em ambas as profundidades, variando entre 1,51 a 1,57 kg dm⁻³. Já a microporosidade não diferiu entre as profundidades e usos, e variou entre 0,13 a 0,15 dm³ dm⁻³. A macroporosidade, foi maior para o Cerrado Nativo em ambas as profundidades, da ordem de 0,30 dm³ dm⁻³ em 0-10cm e 0,32 dm³ dm⁻³ a 10-20 cm. A macroporosidade dos demais usos foi sempre maior que no uso cerrado e seus valores foram sempre menores na profundidade de 0-10 cm quando comparados com 10-20 cm, variando de 0,22 a 0,26 dm³ dm⁻³. A condutividade hidráulica do solo saturado foi sempre maior no cerrado nativo, equivalendo a 200,38 mm h⁻¹ para 0-10 cm e para 10-20 cm, 205,78 mm h⁻¹. Os autores constataram sensível redução da condutividade para os demais usos, e que não diferiram entre si mesmo ou entre as profundidades, e variaram de 59,37 mm h⁻¹ a 78,21 mm h⁻¹ (Sales et al., 2010).

Destaca-se no trabalho supracitado, a considerável macroporosidade dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, sendo que foi o atributo mais sensível ao manejo. Os reduzidos valores de microporosidade condicionados por sua textura, conferem baixa retenção da água e alta condutividade hidráulica, drasticamente reduzida pela atividade antrópica. Sales et al. (2010), concluem que a redução da condutividade hidráulica em áreas de atividade antrópica pode afetar a recarga do lençol freático e aumentar o processo erosivo. Assim, a manutenção da cobertura vegetal do solo é considerada fundamental para exploração agropecuária em áreas com estes solos.

Parahyba et al. (2008) realizaram estudos hidropedológicos afim de classificar os solos do município de Gloria (BA) em classes de potencial para a irrigação. Para tanto, realizaram testes de infiltração de água no solo pelo método do duplo cilindro (infiltrômetro) e retestes de infiltração um dia após os testes para avaliar o efeito da umidade inicial do solo na sua capacidade de infiltração; e determinação da capacidade de campo “*in situ*” e da umidade no ponto de murcha permanente para cálculo de água disponível.

Os autores constataram que os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS de classe textural areia, apresentaram valores de infiltração, com solo inicialmente seco, na ordem de 1.050 a 1.200 mm h⁻¹. Para os retestes, com o solo úmido (perto da capacidade de campo), a infiltração variou entre 750 e 850 mm h⁻¹. Os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS de classe textural areia-franca tiveram valores de infiltração, com solo inicialmente seco, de 1.000 e 1.300 mm h⁻¹; já os valores dos retestes ficaram em torno de 850 a 950 mm h⁻¹. Os testes de água disponível indicaram que os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS de textura areia-franca, tiveram valores médios de água disponível na faixa 14 a 16 mm, nos primeiros 30 cm, e de 70 a 75 mm, dentro de 120 cm de profundidade, enquanto que os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS de textura areia tiveram valores médios de água disponível na faixa de 10 a 15 mm, nos primeiros 30 cm, e de 55 a 60 mm, dentro de 120 cm de profundidade (Parahyba et al., 2008). Os resultados encontrados pelos autores mostram que a variação dos valores de infiltração é um processo dinâmico e depende do estado de umidade inicial do solo. Mesmo com esta variação, os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS apresentaram elevadas taxas médias de infiltração básica, enquanto que o armazenamento hídrico foi influenciado pelo conteúdo de fração fina nos perfis dos solos.

Brandão et al. (2006) avaliaram a taxa de infiltração da água em algumas classes de solo submetidas a diferentes energias cinéticas de chuva simulada, bem como as características físicas e hídricas das crostas formada nestes solos devido ao impacto destas chuvas simuladas. Foram comparadas cinco classes de solos: ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, NEOSSOLO FLÚVICO, NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; e seis valores de energia cinética de impacto das gotas da chuva sobre o solo: 0, 525, 1.051, 2.102, 3.153 e 4.204 J m⁻².

Os autores constataram que o solo que apresentou as maiores taxas de infiltração foi o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO devido sua textura arenosa (0,876 kg

kg^{-1}) e sua alta macroporosidade, que facilitam a entrada de água. Contudo, observou-se que houve redução no valor da infiltração à medida que a energia cinética da chuva simulada aumentava, sendo que esta tendência ocorreu para todas as classes de solo. Esta redução da infiltração deveu-se ao encrostamento da superfície do solo, sendo que o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO foi o solo que sofreu o maior decréscimo da taxa de infiltração, embora ainda tenha mantido as maiores taxas de infiltração e, também, foi o solo que apresentou maior espessura de crosta. Os autores explicam que solo constituído de grão simples, como os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, as crostas tornam-se mais espessas, pois toda a energia cinética da gota de chuva é empregada na reorganização das partículas do solo.

Souza et al. (2005) avaliaram o efeito de diferentes usos de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (930 g kg^{-1} de areia, 30 g kg^{-1} de silte e 40 g kg^{-1} de argila), nas profundidades de 0–0,05 m, 0,05–0,1 m, 0,1–0,15 m e 0,15–0,2 m, os seguintes atributos físicos: densidade do solo, volume total de poros e resistência mecânica à penetração, sob cerrado, integração lavoura-pecuária, pastagem, cultivo de milho e cerrado antropizado (área em processo de reabilitação natural, depois de exploração pecuária inadequada).

Constataram que todos os usos aumentaram a densidade do solo, sem diferença entre as profundidades estudadas. Para o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, o cerrado foi o uso com menor valor de densidade do solo ($1,41 \text{ g cm}^{-3}$) e o maior valor encontrado foi para o uso pastagem ($1,60 \text{ g cm}^{-3}$). Os maiores valores para o volume total de poros ($0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e macroporosidade ($0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) foram encontrados no cerrado nativo, sendo que houve redução destes atributos para os demais usos antropizados. Já a microporosidade não apresentou variação significativa entre os usos e profundidades, ficando na faixa de $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Souza et al. (2005), relataram também que em relação à resistência à penetração, este NEOSSOLO QUARTZARÊNICO apresentou valores da ordem de 1,2 MPa na camada superficial, valor compreendido na faixa moderada de resistência à penetração, possibilita o desenvolvimento do sistema radicular dos vegetais em todos os usos estudados. Para Souza & Alves (2003), a resistência mecânica à penetração torna-se impeditiva quando seus valores são superiores a 5 MPa em plantio direto. Assim percebe-se que no NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, estudado por Souza et al. (2005) nenhum dos usos estudados ultrapassou os valores impeditivos propostos por Souza & Alves (2003).

Carneiro et al. (2009) avaliaram vários atributos de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO sob diferentes usos e manejos. Corroborando com Souza et al. (2005)

(supracitado), todos os atributos físicos estudados sofreram pioras quando comparou-se o uso Cerrado (testemunha), com os usos antropizados (pastagem nativa, integração agricultura-pecuária, pastagem cultivada, plantio direto com soja no verão e plantio direto com milho no verão), com aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração, redução da porosidade e macroporosidade. Entretanto Carneiro et al. (2009) não encontraram alterações na microporosidade em relação aos usos do solo.

Almeida et al. (2008), ajustaram curvas de resistência do solo à penetração para diversos solos, dentre os quais um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, para duas densidades distintas, representado dois estados de compactação. A curva de penetração deste solo indicou, que para uma umidade gravimétrica baixa ($0,02 \text{ kg kg}^{-1}$) a resistência a penetração teve valor de 2,10 MPa, para o maior nível de densidade testado. Os autores destacam a grande influência da umidade no valor da resistência à penetração do solo.

2.1.4 Movimento de metais pesados

Oliveira et al. (2010) analisaram o comportamento, transporte e retenção, do Cádmiio (Cd) em algumas classes de solos, dentre estas os NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, no Estado de Goiás. Foram coletadas amostras dos horizontes subsuperficiais dos solos avaliadas quanto suas características físico-químicas. O NEOSSOLO QUARTZARÊNICO estudado por Oliveira et al. (2010) apresentou: $D_s = 1,1 \text{ kg dm}^{-3}$; $VTP = 0,58 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$; 79, 6, 15 % de areia silte e argila, respectivamente; e $K_o = 1,64 \text{ m d}^{-1}$. O autor destaca a textura predominantemente arenosa deste solo, que lhe conferiu alta porosidade e, portanto, alta condutividade hidráulica. Já os atributos químicos destes solos apresentaram os seguintes valores: $S = 1,44 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; $T = 3,43 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; $V = 41,96 \%$; $\text{pH} = 6,54$; $\text{CO} = 0,82 \text{ g kg}^{-1}$; $K_i = 0,74$ e $K_r = 0,45$. Destaca-se entre os atributos químicos, a baixa de retenção de cátions em decorrência de serem solos gibbsíticos/oxídicos (K_i e $K_r \leq 0,75$) e um pH relativamente alto, apresentando, assim, uma acidez fraca.

Em relação ao experimento de sorção do Cádmiio, o RQ possui menor capacidade de retenção deste metal pesado em relação às demais classes de solo. A baixa capacidade de retenção deste metal, conjugada à alta e rápida movimentação de água nesta classe de solo, oferece um risco maior de contaminação das águas subterrâneas. A baixa retenção do Cd nesta classe de solo está associada ao baixo teor de argila, responsável

pelos sítios de troca (baixa CTC) e pelo tipo de argilomineral encontrado (predomínio de óxidos) (Oliveira et al., 2010).

Para Costa et al. (2008), corroborando com Oliveira et al. (2010), os Neossolos, devido à sua constituição pobre em argilas e matéria orgânica, apresentam menor capacidade de manter os metais retidos quando comparado com o Latossolo. Isso significa maior concentração dos metais na solução do solo e, conseqüentemente, maior fitodisponibilidade dos metais pesados neste solo.

Em outro experimento de sorção de metais pesados em diferentes classes de solos, Oliveira et al. (2010 b), avaliaram a sorção competitiva de cobre (Cu^{+2}), cromo (Cr^{+3} e Cr^{+6}), zinco (Zn^{+2}), cádmio (Cd^{+2}), chumbo (Pb^{+2}) e níquel (Ni^{+2}). O RQ foi a classe de solo que apresentou menor retenção de metais em comparação com as demais classes de solo sendo, portanto, mais vulnerável à contaminação de águas subterrâneas. A sequência da retenção dos metais pesados em ordem decrescente, foi, para: RQ: $\text{Cr}^{+6} > \text{Cr}^{+3} > \text{Cu}^{+2} > \text{Pb}^{+2} > \text{Ni}^{+2} > \text{Zn}^{+2} > \text{Cd}^{+2}$.

2.1.5 Taxas de erosão hídrica e erodibilidade

Macedo et al. (1998) mediram a erosão hídrica em solos arenosos sob pastagem de *Brachiaria decumbens* degradada e constataram que esses solos apresentaram alta erodibilidade e, portanto foram classificados como inaptos para lavoura e aptos com restrições para pastagens plantadas se forem bem manejados (no nível “B” de manejo). Os autores compararam as taxas de perda de solo e água dos solos arenosos sob pastagem nativa e plantada. A taxa de perda de solo sob pastagem plantada (900 kg ha^{-1}) foi menor que a encontrada sob pastagem nativa (1026 kg ha^{-1}). Quando se comparou a perda de água, o solo arenoso sob pastagem plantada apresentou menores perdas e maior infiltração de água do que o sistema de pastagem nativa.

Vale Júnior et al. (2009), avaliando a erodibilidade de solos sob cerrado e plantios de *Acácia mangium* no estado de Roraima, identificaram várias classes de solos, entre as quais duas classes de NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS: Hidromórfico (RQg) e Órtico (RQo). Estes solos apresentaram textura arenosa em todo seu perfil, sendo a granulometria do horizonte A: 79,8 %, 12,0 % e 8,2 % de areia, silte e argila, respectivamente e do horizonte C: 82,1 %, 5,7 % e 12 % de areia, silte e argila, respectivamente. Também calcularam a velocidade de infiltração básica (VIB) que foi de

41,6 cm h⁻¹ e o coeficiente de erodibilidade, que teve valor de 11,2, para o horizonte A, e 7,3 para o horizonte C.

Conforme Vale Júnior et al. (2009), a textura arenosa, embora tenha condicionado uma alta VIB, também, tornam estes solos altamente erodíveis. Contrapondo o efeito da textura, a posição desses solos na paisagem, em relevo plano a abaciado, com menos de 3% de declividade, os tornam menos vulneráveis a erosão.

Ainda a respeito do mesmo experimento, Brandão et al. (2007), mediram as taxas de erosão para diferentes classes de solo e níveis de energia cinética das gotas de chuvas simuladas. Observaram que o aumento da energia cinética proporcionou um aumento progressivo da taxa de perda de solo. Isto ocorreu devido à redução da infiltração provocada pelo encrostamento superficial do solo, gerando um escoamento superficial que causou elevação da tensão cisalhante do próprio escoamento, elevando-se a capacidade de arraste das partículas do solo. Contudo, constataram que o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO apresentou a menor taxa de perda de solo, pois além de menor teor de argila, seus constituintes minerais (predominantemente areia) são mais pesados, e a tensão cisalhante de escoamento superficial não foi capaz de transportar grandes volumes deste solo (Brandão et al., 2007).

Correchel (2003), comparando o valor da erodibilidade calculada por oito metodologias distintas, de diversos solos (Neossolo, Latossolo, Nitossolo e Argissolo) sob dois usos (pastagem e cana-de-açúcar), constatou que para todas as metodologias de cálculo e todos os usos, o Neossolo foi o que apresentou os menores valores de erodibilidade. O valor médio para este solo sob uso com pastagem foi de 0,009 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹, já para o uso com cana, o valor médio foi de 0,01 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹. Ambas as erodibilidades foram classificadas como baixas. Também, os RQo's, para ambos os usos, também foram os solos com os menores valores de perda. A perda média sob pastagem foi de 0,43 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e sob cana de 3,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. A discrepância entre os valores médios das taxas de perdas de solo sob a pastagem e cana, mostram o efeito do uso e manejo do solo nas taxas de erosão.

2.1.6 Avaliação e aptidão agrícola

A avaliação das terras é concebida para servir a propósitos práticos e sua aplicação contribui para um uso sábio dos recursos naturais pelo homem. A função do planejamento do uso da terra é de servir como um guia para decisões sobre seu uso, de tal

sorte que os recursos ambientais são usados da maneira mais benéfica para o homem, concomitantemente com a conservação destes recursos para o futuro. Deste modo, a avaliação da terra para seu uso agrícola segue os seguintes princípios:

a) A aptidão da terra é analisada em relação a um tipo específico de uso, ou seja, diferentes usos da terra possuem necessidades específicas, sendo as características de cada tipo de terra comparadas com as necessidades de cada uso;

b) A avaliação requer a comparação dos benefícios obtidos e dos insumos necessários para os diferentes tipos de terra, pois para cada uso a aptidão é analisada pela comparação dos investimentos necessários (trabalho, fertilizantes, construção de estradas etc..) com os bens produzidos ou outros benefícios obtidos;

c) A avaliação é feita considerando os contextos técnico, econômico e social da área envolvida;

d) A aptidão refere-se a um uso sustentável, pois podem existir formas de uso da terra lucrativas no curto prazo, porém, que levam a sua degradação e as conseqüências ambientais negativas são mais relevantes do que o lucro no curto prazo; a avaliação envolve comparação de mais de um tipo de uso, por exemplo: entre a agricultura e florestas, entre sistemas de cultivo ou entre culturas. Muitas vezes a avaliação comparará usos existentes com usos possíveis, novos tipos de uso, modificações dos usos existentes e, ocasionalmente, um uso será comparado com o “não-uso” da terra (FAO, 1981).

Devido à considerável heterogeneidade, dimensão e desenvolvimento regional diferenciado, o Brasil apresenta condições antagônicas no que se refere à tecnificação da atividade agrícola. Assim, verificam-se situações que ocorrem solos mal manejados e degradados, ao lado de áreas de altas produtividades e manejo altamente tecnificado; extensas áreas sendo desmatadas, sem um estudo prévio sobre a melhor utilização das terras. Em determinados casos, os técnicos intervêm após a ação antrópica já ter atingido grau impactante significativo, já que o poder público é moroso na tomada de decisões, e, por vezes, leniente. De modo geral, os recursos naturais têm sido utilizados de forma tão acelerada e intensa, que as intervenções do mundo científico e da sociedade tem sido mais no sentido de reabilitar áreas degradadas do que prevenir problemas ambientais (Garcia & Espíndola, 2001).

Geralmente, a classificação do solo pode ser natural/taxonômica ou técnica/interpretativa, sendo esta capaz de possibilitar inferir as limitações, potenciais e viabilidade (melhor uso) da terra. Segundo Pereira e Lombardi Neto (2004), o sistema de

aptidão agrícola tem sido empregado na interpretação de levantamentos pedológicos, com diferentes níveis (do nível exploratório ao nível detalhado), possibilitando à avaliação das potencialidades dos solos brasileiros e subsidiando projetos e programas preocupados com o desenvolvimento sustentável.

No Brasil, as classificações interpretativas mais utilizadas são: o sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho-Filho & Beek, 1995) e o Sistema de Capacidade de Uso (Lepsch et al., 1991). O Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras baseia-se nas qualidades da terra, em seu tipo de uso e nos níveis de manejo considerados. Orienta o uso adequado do solo, evitando a sub ou sobre-utilização do solo. Adequado para avaliar aptidão de grandes extensões de terra (planejamento regional e/ou nacional). Consiste de um processo interpretativo, de caráter efêmero, que varia com a evolução tecnológica (Ramalho Filho & Beek, 1995).

Seus aspectos favoráveis são: é o sistema mais utilizado no Brasil; considera, na sua estrutura, diferentes níveis de manejo; permite modificações ou incorporações de outros parâmetros e fatores de limitação, acompanhando os avanços do tecnológicos ou da exigência do nível de estudo; aceita adaptações e aplicações em diferentes escalas de mapeamento; considera a viabilidade de redução de limitações, pelo uso de capital e tecnologia, distinguindo o agricultor de alto nível tecnológico do de baixo nível tecnológico (Pereira e Lombardi Neto (2004). Já seus aspectos desfavoráveis são a escassez de variáveis socioeconômicas (IBGE, 2007).

Outra falha do sistema proposto por Ramalho Filho & Beek (1995) é que este não inclui a legislação na determinação das classes de aptidão. Pedron et al. (2006) determinaram as áreas de conflitos de uso das terras, através da geração e cruzamento de mapas temáticos para o município de São João de Polêsine (RS), e determinaram que o município apresenta 51,5% da área com uso conforme sua aptidão, 18,7% subutilizado e 27,9% com inadequação de uso. No entanto, esta avaliação não engloba a legislação ambiental, na qual se verifica que 14,8% da área enquadra-se como APP, sendo que 8,6% desta apresenta conflitos de uso devido à sua utilização com lavouras e pastagens. Da mesma forma, 90,8% da área enquadrada como APP apresenta algum tipo de aptidão agrícola, entretanto, tem seu uso limitado pela legislação ambiental. Para os autores, a falta de conhecimento da aptidão de uso da terra e planejamento adequado de seu uso tem gerado degradação ambiental, sendo que os principais fatores relacionados a esta

problemática são: a utilização inadequada dos recursos naturais, desrespeito a aptidão das terras e a legislação ambiental.

O Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola apresenta parâmetros para interpretar a condição de uma terra. Os parâmetros adotados pelo Sistema são: Nível de Manejo, Tipo de Uso e Condição Agrícola da Terra. Os **Níveis de Manejo**, que se baseiam na aplicação de capital e tecnologia para o manejo, melhoramento e conservação do solo e lavoura, são os seguintes: Nível de manejo A (Primitivo), com adoção de práticas agrícolas de baixo nível tecnológico; “B” (Pouco desenvolvido), adoção de práticas agrícolas de nível tecnológico intermediário; e “C” (Desenvolvido), com uso de práticas agrícolas de alto nível tecnológico. O objetivo dos **níveis de manejo** é diagnosticar o comportamento da terra sob diferentes níveis tecnológicos. Já os **Tipos de Uso** considerados pelo Sistema são: lavouras, pastagens plantadas e naturais, silvicultura e preservação de flora e fauna. A **Condição Agrícola** é inferida através dos fatores limitantes da terra, sendo que o Sistema considera as seguintes limitações: deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio (ou excesso de água), susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. Geralmente, os solos apresentam uma ou várias deficiências, assim deve-se estabelecer o grau de limitação da terra através da intensidade dos fatores limitantes (Ramalho Filho & Beek, 1995).

O Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola é estruturado em três níveis categóricos: Grupo, Subgrupo e Classe de Aptidão Agrícola. Sendo que a Classe, o último e mais importante nível categórico, expressa a aptidão agrícola para determinado uso e nível de manejo. Este nível categórico reflete a intensidade com que as limitações afetam uma terra e resulta da interação de sua condição agrícola, nível de manejo e utilização. As Classes de Aptidão Agrícola podem ser: Boa, Regular, Restrita e Inapta, aumentando as limitações da terra da Classe Boa (produção sustentável com mínimas restrições que não afetam a produtividade, benefícios e uso de insumos) para a Classe Inapta (terra com sem condições de produção sustentável decorrente de limitações muito fortes) (Ramalho Filho & Beek, 1995).

Pereira & Lombardi Neto (2004) avaliaram a aptidão agrícola das terras, nos níveis de manejo B e C, a fim de diagnosticar a qualidade agroambiental da região corresponde à quadrícula de Ribeirão Preto (21° 00' a 21° 30' S; e 47° 30' a 48° 00' W), localizada na região nordeste do Estado de São Paulo, com extensão de 276.451,0 ha. Os Neossolos Quartzarênicos corresponderam a segunda maior classe, em extensão, com 7,26% da

quadrícula (19.661 ha). Segundo os autores, constituem solos profundos, álicos ou distróficos, com sérias limitações de retenção de água e nutrientes e acentuada erodibilidade.

Correia et al. (2004) destacam a baixa aptidão agrícola desta classe de solo. A alta quantidade de areia, baixos teores de argila, matéria orgânica, agregação e diminuto armazenamento de água limitam seu uso agrícola. Estes autores ainda salientam que apesar de a adsorção de fósforo ser pequena nestes solos, existem sérios problemas com a lixiviação de nitrogênio e decomposição rápida de matéria orgânica. A lixiviação de nitratos e sulfatos é grande neste solo devido à grande macroporosidade e, como consequência, elevada permeabilidade. Em relação ao uso não-agrícola desta classe de solo, por serem muito permeáveis e de baixa capacidade adsortiva, o que propicia a maior lixiviação de produtos tóxicos e metais pesados, não é indicada para ser receptora de lixos ou produtos potencialmente poluidores (Oliveira, 2008).

Segundo Correia et al. (2004), alguns pontos importantes devem ser considerados no manejo dos NEOSSOLOS, como: o uso desta classe de solo conforme a sua aptidão agrícola; avaliação da CTC, pois os solos arenosos tem CTC baixa levando-os a uma dependência da matéria orgânica; se os teores de areia grossa forem maiores que os de areia fina, o solo terá menor CTC e retenção de água; em relevos suave-ondulados (entre 3 a 8% de declive) esses solos apresentam menor erodibilidade; em geral, apresentam grande perda de água devido à rápida infiltração; os investimentos no manejo e melhoria destes solos podem ser mais elevados que os benefícios gerados, portanto, deve-se avaliar a viabilidade econômica de seu uso; e por fim, as culturas perenes são mais indicadas para este solo do que as anuais. Segundo Prado (2008), os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS são solos muito ressecados devido à textura arenosa ao longo do perfil, são muito lixiviados e suscetíveis a erosão, possuem um baixo potencial nutricional, baixos valores de matéria orgânica e CTC, sendo normalmente indicados para pastagens e reflorestamentos.

Segundo Coelho et al. (2002), os Neossolos ocupam uma área de 1.246.898,89 km², ou 14,57% do Brasil. Já os Neossolos Quartzarênicos, segundo os autores, têm expressiva ocorrência na região Centro-Oeste brasileira, englobando aproximadamente 15% de sua área total. Segundo os autores, a ocorrência de processos erosivos nestes solos é rápida e se dá após a intervenção antrópica. Há ocorrência de severos processos de erosão linear (ravinas e voçoroca) em áreas de cabeceiras de drenagem sobre tal classe de solo.

Os *Quartzipsamment* apresentam problemas similares aos Neossolos Quartzarênicos. Possuem baixa capacidade de retenção de água, grande lixiviação, baixa quantidade de minerais intemperizáveis e, portanto, apresentam fertilidade natural muito baixa. Ainda, devido à rápida infiltração e condutividade hidráulica, estes solos apresentam um risco maior de contaminação de águas subterrâneas quando são aplicadas altas taxas de fertilizantes (nitratos) ou resíduos. A razão para este risco de contaminação é que estes solos muitas vezes apresentam-se em áreas de recarga de aquíferos (Fanning & Fanning, 1989).

Os *Quartzipsamment* têm sido usados pela agricultura intensiva, com uma alta aplicação de fertilizantes e irrigação. Em muitas regiões do mundo, estes solos, devido sua baixa capacidade de reter água, se aquecem na primavera antes que os demais solos, e tornam-se, portanto, prontos para o plantio de modo antecipado. Também, esta classe de solo é boa para o cultivo de plantas tuberosas ou culturas cujo foco é a colheita de raízes, pois a produção torna-se mais fácil. Com irrigação e fertilização, a agricultura em tal solo pode ser comparada aos hidropônicos, onde o solo serve apenas como ancora para a raiz das plantas (Fanning & Fanning, 1989).

2.2 DEFINIÇÕES E MECANISMOS DE FORMAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA

O solo, segundo EMBRAPA (2006), é uma coleção de corpos naturais constituídos por parte sólida, líquida e gasosa, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais. Contém matéria viva e podem ser vegetados. Está definição é bastante ampla e abrangente, permitindo-nos inferir sobre a múltipla capacidade que o solo possui em cumprir funções tanto nos âmbitos natural quanto no antrópico. Assim, o solo pode ter significados distintos para cada área do conhecimento e usuário. Por exemplo, em épocas passadas, para um geólogo ou um engenheiro, o solo era um sedimento de rocha. Para um hidrólogo, o solo representa um reservatório de água que interfere no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica. Para o ecologista o solo é analisado em relação sua influência sob o crescimento e a distribuição de plantas e animais, enquanto que o produtor rural se interessa pela maneira como o solo afeta a produção agrícola sendo que seu interesse, muitas vezes, se limita à camada superficial do solo (White, 2009).

O solo, a camada intemperizada, fragmentada e externa da superfície da Terra, para a ciência ambiental é um corpo natural envolvido em interações dinâmicas com a

atmosfera, acima, e com a litosfera, abaixo; influencia o clima do planeta, o ciclo hidrológico, serve como meio para o crescimento de organismos e ainda atua na ciclagem de nutrientes (Hillel, 1998), sendo, portanto, o substrato natural dos ecossistemas terrestres, fundamental para manutenção das comunidades vegetais e animais. Sua eficiência funcional constitui suporte para a vida humana, segurança às nações e estabilidade às sociedades (Freire, 2006).

A degradação do solo está associada aos efeitos ambientais negativos decorrentes de atividades e, ou, intervenções humanas. Assim como a definição do solo varia entre os campos do conhecimento, da mesma forma ocorre em relação à definição de solo degradado. Por exemplo, para a engenharia civil o conceito de solo degradado está relacionado à alteração de sua capacidade em manter-se coeso e com sua densidade elevada, para servir como meio de suporte às estruturas das obras. Entretanto, para a Agronomia, os solos adensados ou compactados caracterizam processo de degradação (Tavares, 2008), ou seja, da deterioração de suas propriedades edáficas, sendo a erosão do solo uma das principais causas (Capeche, 2008).

Erosão, cuja etimologia vem do latim (*erodere*), significa: corroer, ou seja, é o desgaste da superfície da terra por agentes erosivos (Camapum de Carvalho, 2006). A erosão refere-se à remoção da parte superficial e subsuperficial do solo pela ação da água (erosão hídrica), resultado do efeito do embate direto da chuva e do escoamento superficial, e do vento (erosão eólica), ação de ventos sobre a superfície do solo. A erosão eólica é expressiva em regiões semi-áridas ou com períodos marcantes de seca ao longo do ano, ou, ainda, em materiais de solo fracamente agregados, podendo atuar de forma intensa em terrenos planos. O risco de erosão eólica é acentuado pela remoção ou redução da cobertura vegetal. A erosão hídrica: resulta da remoção de material sólido à medida que ocorre o fluxo de água no solo. Este tipo de erosão é mais intenso nos trópicos.

O processo erosivo provoca desgaste e, conseqüentemente, modifica a superfície da terra, sendo um processo influenciado por: água, vento, cobertura vegetal, topografia e tipo de solo. Assim a erosão pode ser geológica/natural ou antrópica/acelerada. A erosão geológica/natural ocorre sem a interferência do homem. Acontece pela atividade geológica (água, vento e gelo) sobre a superfície terrestre sendo, portanto, um processo natural. Já a erosão antrópica/acelerada ocorre devido à interferência do homem sobre o ambiente, que intensifica a ação dos agentes erosivos (chuva e vento)

sobre o solo, portanto desgasta o solo mais rapidamente que a erosão geológica (Capeche et al., 2008; Curi et al., 1993).

A erosão do solo é um processo de duas fases que consiste no destacamento de partículas da massa do solo e seu transporte pelos agentes erosivos (ex.: água e vento). Quando não há mais energia suficiente para o transporte das partículas, uma terceira fase, deposição, ocorre. A severidade da erosão depende da quantidade de material destacado do solo e a capacidade dos agentes erosivos em transportá-los (Morgan, 1996). A erosão do solo é, portanto, uma função do poder erosivo da água e da erodibilidade do solo: **$Erosão=f(Erosividade, Erodibilidade)$** , sendo a erosividade é a habilidade potencial de uma chuva causar erosão para dado solo e vegetação. Já a erodibilidade é a vulnerabilidade de determinado solo em se erodir para determinada condição de chuva (Selby, 1993).

A erosão, portanto, é gerada por forças ativas, como a incidência da chuva, aliada a declividade e comprimento do declive do terreno, e a capacidade de absorção de água pelo solo; e por forças passivas, como a resistência do solo e a densidade de cobertura vegetal (Bertoni & Lombardi, 2008).

Toda perda de solo exige a ação da água sobre o terreno (exceto a erosão eólica). A água da chuva atua sobre o solo através do impacto desagregador e consolidador da gota de chuva, que é função de seu diâmetro e velocidade, e pela ação de escoamento da água sobre o solo age desagregando e transportando partículas do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2008). Portanto a erosão está relacionada com o movimento da água, ou seja, com o ciclo hidrológico. Nos trópicos, a água alcança o solo, predominantemente, através da precipitação. A água da chuva pode atingir diretamente o solo, porém ser interceptada pela vegetação e evaporar-se, ou até mesmo atingir o solo por gotejo ou escoando pelas folhas. Parte da água que alcança o solo pode se infiltrar, contudo, se a precipitação for maior que a capacidade de infiltração do solo e este já estiver saturado, a água irá acumular-se nas depressões do terreno e quando estas estiverem todas preenchida começará o escoamento superficial (Selby, 1993).

Contudo, antes do início da ação erosiva do escoamento superficial, o solo é atingido por milhares de gotas de chuva que causam erosão por salpicamento. Está modalidade de erosão depende da energia cinética da gota de chuva, que se relaciona com a massa (m) e a velocidade (v) dos agentes erosivos, sendo expressa pela seguinte fórmula: **$E_C= \frac{1}{2}*m*v^2$** . Assim, a desagregação das partículas depende da erosividade da chuva, diâmetro das gotas de chuva, direção e velocidade do vento e condições da superfície do

solo. Partículas salpicadas podem mover mais de 0,6m em altura e 1,5m lateralmente em solos planos. Já em solos inclinados, o solo salpicado move-se preferencialmente a jusante. Ainda, a velocidade terminal de uma gota de chuva grande (5 mm de diâmetro) pode atingir 9 ms^{-1} . Assim, estas gotas de chuvas agem compactando o solo, através de seu impacto direto com o solo, e o dispersando. Esta ação faz com que as partículas menores, que foram desagregadas pelo impacto da gota, entupam os poros responsáveis pelo movimento de água para dentro do solo, causando seu o selamento e encrostamento e, portanto, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial (Morgan, 1996; Hillel, 1998).

Já o escoamento superficial da água é o maior agente transportador do solo desagregado. Contudo, o fluxo superficial de água também possui capacidade erosiva, que depende da velocidade, declividade do terreno, concentração de sedimentos na enxurrada que promove efeito abrasivo sob o solo. Também, as gotas de chuva que caem sobre a água da enxurrada promovem turbulência e poderá aumentar a capacidade erosiva e de transporte deste fluxo (Bertoni & Lombardi Neto, 2008).

Deste modo o controle da erosão deve ser feito pelo controle do escoamento superficial, que transporta as partículas de solo, e, principalmente, eliminando o desprendimento das partículas causadas pelo impacto das gotas de chuva (Bertoni & Lombardi Neto, 2008). A redução da cobertura vegetal poderá aumentar a erosão por fluxo superficial. Isto porque haverá mais chuva atingindo a superfície do solo, e menos, sendo interceptada pela vegetação, o que implicará no encrostamento do solo e na redução da infiltração de água (Morgan, 1996).

O escoamento superficial inicia-se com um fluxo laminar e difuso sobre a superfície de terreno, promovendo a erosão laminar. Este tipo de erosão caracteriza-se pela retirada de uma camada delgada da superfície do solo, por isso é menos percebida pelo homem. Contudo, após o escoamento superficial ter percorrido distância suficiente para atingir velocidade e volume suficiente, este fluxo começa a causar incisões sob o solo e a se canalizar. Surge, então, a erosão por sulco caracterizada pelo surgimento de pequenas irregularidades na superfície de um terreno por onde a enxurrada se concentra. Na fase inicial dos sulcos, podem ser desfeitos por operações normais de preparo do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2008; Morgan, 1996).

Assim, o processo erosivo pode se iniciar com o desprendimento/deslocamento de partículas do solo (erosão por salpico ou *splash erosion*) e o transporte das partículas de solo pode ocorrer por: escoamento superficial difuso (erosão laminar) e por fluxos

concentrados (erosão linear), formação de sulcos, ravinas e voçorocas. Deste modo, pode ocorrer a seguinte evolução do processo erosivo: erosão laminar → erosão em sulcos → Ravinas → Voçorocas (Tabela 1). Contudo, destaca-se que os sulcos são canais de até 10 cm, formados pelo escoamento superficial, são bem distribuídos na paisagem, e podem ser destruídos com práticas comuns de preparo do solo. As ravinas são canais com profundidade maior que 10 cm e menor que 50 cm (uma maior profundidade gera instabilidade de talude), formadas por escoamento superficial. Por fim, as voçorocas possuem uma profundidade superior a 50 cm, sendo que neste tipo de erosão atuam processos de erosão superficial, erosão interna (atuação do lençol freático) e movimentos de massa (Camapum de Carvalho et al., 2006; Oliveira, 2005; Morgan, 1996).

Tabela 1. Tipos erosivos. (Adaptado de Camapum de Carvalho, 2006)

Agente Causador	Terminologia
Agentes geológicos (ex.: água, vento, gelo)	Erosão natural/geológica
Ação humana	Erosão antrópica/acelerada
Água	Erosão hídrica
Fluxo superficial difuso	Erosão laminar
Fluxo concentrado	Erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas)
Vento	Erosão eólica

2.3 TIPOS E CLASSIFICAÇÕES DAS VOÇOROCAS

As voçorocas podem ser classificadas em pequenas, médias ou grandes, em função de sua profundidade ou área de sua bacia de contribuição. As dimensões para cada classe de voçoroca estão na Tabela 2.

Tabela 2. Classes de tamanhos de voçorocas.

Classes de voçorocas	Profundidade (m)	Área da Bacia de Contribuição (ha)	Fonte
Pequena	até 1	até 2	(FAO, 1986; Bertolini & Lombardi Neto 1994)
Média	1 até 5	2 até 20	
Grande	mais que 5	mais que 20	
Pequena	até 2,5	até 10	(Capeche et al., 2008)
Média	2,5 até 4,5	10 até 50	
Grande	mais que 4,5	mais que 50	

São várias as classificações e definições encontradas na literatura internacional sobre as voçorocas, assim Radoane et al. (1995) compilou várias destas classificações, sendo as mais importantes as seguintes: voçorocas são formas da paisagem instáveis, compõem a rede de drenagem, apresentam incisão de um canal inclinado, muitas vezes com uma cabeceira escarpada e de crescimento rápido, canal com seção transversal em “V” (quando o subsolo é de textura fina de menor erodibilidade) ou em “U” (quando o subsolo tem maior erodibilidade), apresentam fluxo de água efêmero e não são destruídos por práticas agrícolas ordinárias.

Portanto, as voçorocas podem ser classificadas usando o formato de sua seção transversal como parâmetro. Assim, podem ser classificadas como tendo formato em “U”, em “V” e trapezoidal (Figura 1). As voçorocas com formato em “U” possuem as camadas superficiais e subsuperficiais com a mesma resistência contra a erosão. Deste modo, a subsuperfície é erodida na mesma proporção que a superfície do solo, formando paredes quase verticais nas laterais da voçoroca. As voçorocas em “V”, desenvolvem-se onde a camada subsuperficial é mais resistente à erosão que a superficial. Já as voçorocas com formato “trapezoidal” formam-se onde o canal da voçoroca é constituído de material bem mais resistente que a camada superficial do solo (FAO, 1986).

Existem outras classificações na literatura nacional e internacional referentes a este tipo de erosão, como: *Continuous gullies* ou *Discontinuous gullies*, *Valley side gullies* ou *Valley floor gullies*, voçorocas conectadas ou desconectadas a rede de drenagem (Figura 2). As *Continuous gullies* possuem um canal (voçoroca) principal conectado a várias ramificações (voçorocas tributárias) e desembocam em um canal de drenagem. Estas Voçorocas Conectadas (*Continuous Gullies*) são extensões da rede de drenagem, portanto influenciam a sedimentação e tem importância na geração de efeitos *off-site* (Grissinger,1995). Já as *Discontinuous gullies* são feições erosivas independentes que não estão conectadas a um canal de uma voçoroca principal ou a uma rede de drenagem, portanto, desaparecem em uma zona de deposição antes de alcançar a rede de drenagem ao fundo do vale (FAO, 1986; Morgan 1996).

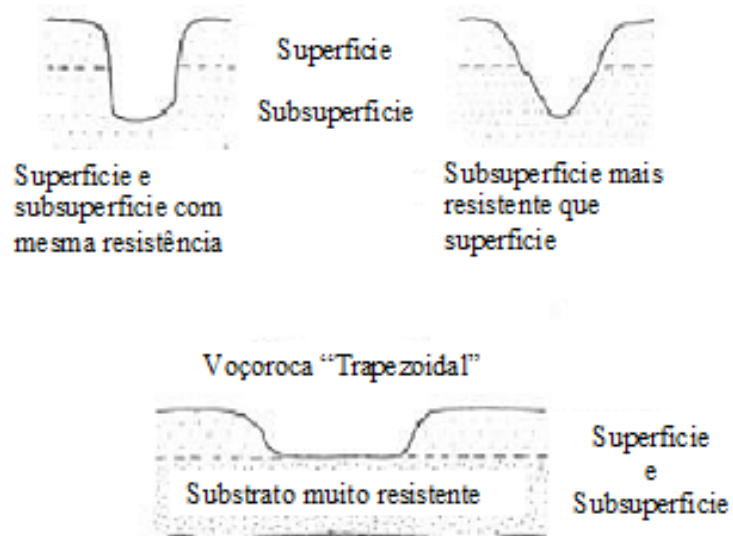


Figura 1. Tipos de cossões transversais de voçorocas (Adaptado de FAO, 1986).

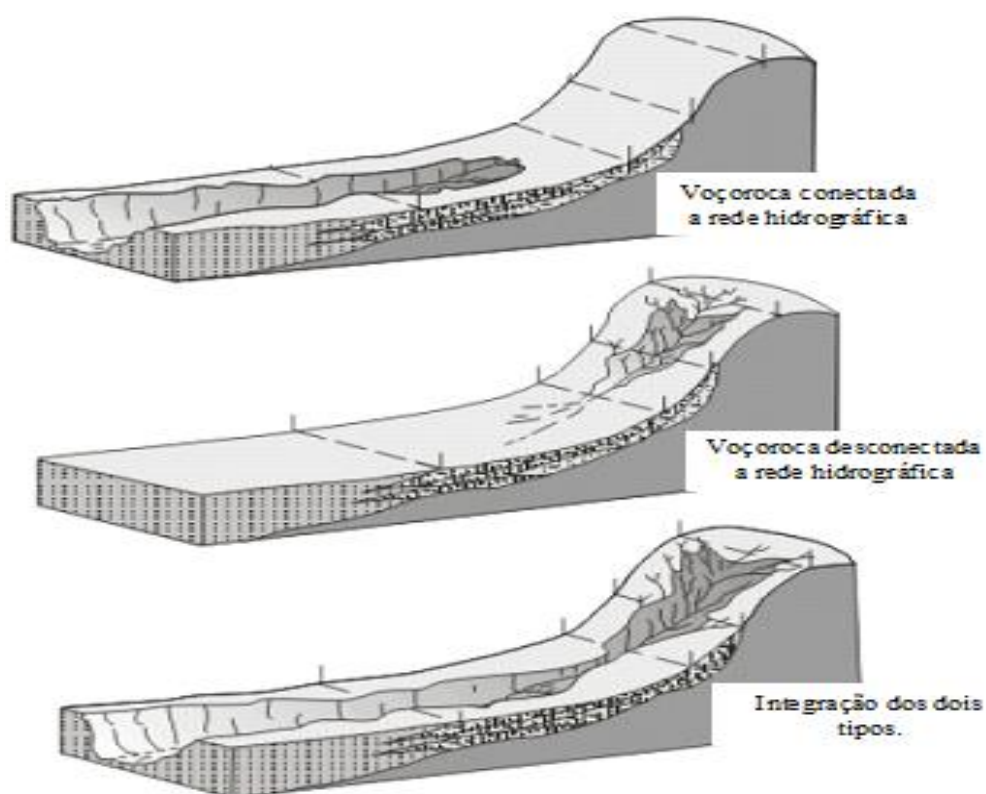


Figura 2. Voçorocas conectadas e desconectadas a rede de drenagem (Adaptado de Casseti, 2005).

As *Valley floor gullies* formam-se nas depressões ou vales das paisagens durante chuvas intensas, podendo formar de ravinhas até voçorocas. Podem originar-se por ação de fenômenos de superfície (escoamento superficial), contudo, a medida que se

tornam mais profunda, avançam por recuo de sua cabeceira, através de solapamentos, erosão por queda d'água (*plungee pool erosion* ou *water fall erosion*), até atingirem as encostas ou porções mais íngremes da paisagem. Já as *Valley side gullies* ocorrem na linha de drenagem principal da encosta, onde há concentração do escoamento superficial que cortam o solo da encosta, ocorrência de colapso de *pipes* subsuperficiais ou movimento de massa local que criam uma depressão linear na paisagem. As *Valley side gullies* podem ser tanto *continuous* (conectadas a um canal de drenagem ao fundo do vale) quanto *discontinuous* (desconectadas a rede de drenagem) (Morgan, 1996).

Além destas tipificações das voçorocas, Poesen et al. (2003) ainda as distinguem em *ephemeral gullies*, *permanent* ou *classical gullies* e *bank gullies*. As *ephemeral gullies* são formas erosivas formadas por erosão causada por fluxo superficial concentrado de água, maiores que os sulcos erosivos (*rill erosion*), porém menores que as *classical gullies*, que correspondem as voçorocas convencionais. Já as *bank gullies* desenvolvem-se quando o escoamento superficial concentrado cruza um banco de terra. Devido o gradiente do declive da superfície do solo, na parte superior deste banco de terra, ser muito grande (por ex.: subvertical para vertical), as *bank gullies* desenvolvem-se rapidamente sobre ou abaixo da superfície do solo. Por erosão hidráulica, piping e movimento de massa. Uma vez iniciadas, as *bank gullies* evoluem pelo movimento de recuo de sua cabeceira para uma porção da paisagem com um menor declive.

As voçorocas podem ser avaliadas quanto ao seu grau de desenvolvimento, sendo classificadas como ativas ou inativas. As voçorocas ativas são aquelas que apresentam seus taludes (bordas) íngremes e com pouca vegetação, ou seja, a erosão é intensa. As voçorocas são consideradas inativas quando possuem seus taludes menos íngremes (mais suaves) e possui maior densidade de vegetação (Silva et al., 1993).

2.4 GENÉTICA E EVOLUÇÃO DE VOÇOROCAS

A origem etimológica da palavra Voçoroca, ou Boçoroca, que, segundo Casseti (2005), seria a terminologia mais adequada, é do tupi-guarani (*Ibi-Çoroc*) que significa “terra rasgada”. Na literatura internacional este processo erosivo pode apresentar outros nomes, como: Gully, Arroyo (EUA) (Selby, 1993).

As voçorocas são definidas como sendo o processo erosivo pelo qual o escoamento da água acumula-se e, muitas vezes, ocorre em canais estreitos e, num curto período de tempo, remove solo deste local a profundidades consideráveis (Poesen et al.,

2003). São, portanto, feições erosivas que formam cursos d'água escarpados e relativamente estáveis, que experimentam fluxo de água efêmero (Figura 3) (Morgan, 1996).

Existem alguns processos específicos ao mecanismo de voçorocamento, além do sulcamento do solo provocado pelo fluxo concentrado de água. Estes processos são: Erosão por queda d'água (*plunge pool erosion* ou *water fall erosion*) que se origina do escoamento superficial da água que desemboca no interior das incisões erosivas (Figura 4). O solapamento da base dos taludes ocorre o arraste de partículas de solo da base do talude, provocando seu descalçamento, podendo gerar “alcovas de regressão”. Este processo pode ocorrer por erosão por queda d'água, por *piping* e percolação de água no interior dos taludes, com a atuação do lençol freático. O movimento de massas ocorre por escorregamentos, queda de blocos, corridas (fluxo de solo). Fluxos subsuperficiais (*pipe erosion*) consistem na formação de tubos na encosta/taludes, devido ao carreamento das partículas do solo pelo aumento do fluxo de água, podendo gerar cavidades no solo e provocar a sua subsidência. Este fenômeno é característico de solos dispersíveis e de solos com teor de argila maior nos horizontes subsuperficiais do que nos superficiais (solos com horizonte B textural) o que gera uma redução e desbalanço na condutividade da água ao longo do perfil (Camapum de Carvalho, 2006; Oliveira, 2005).

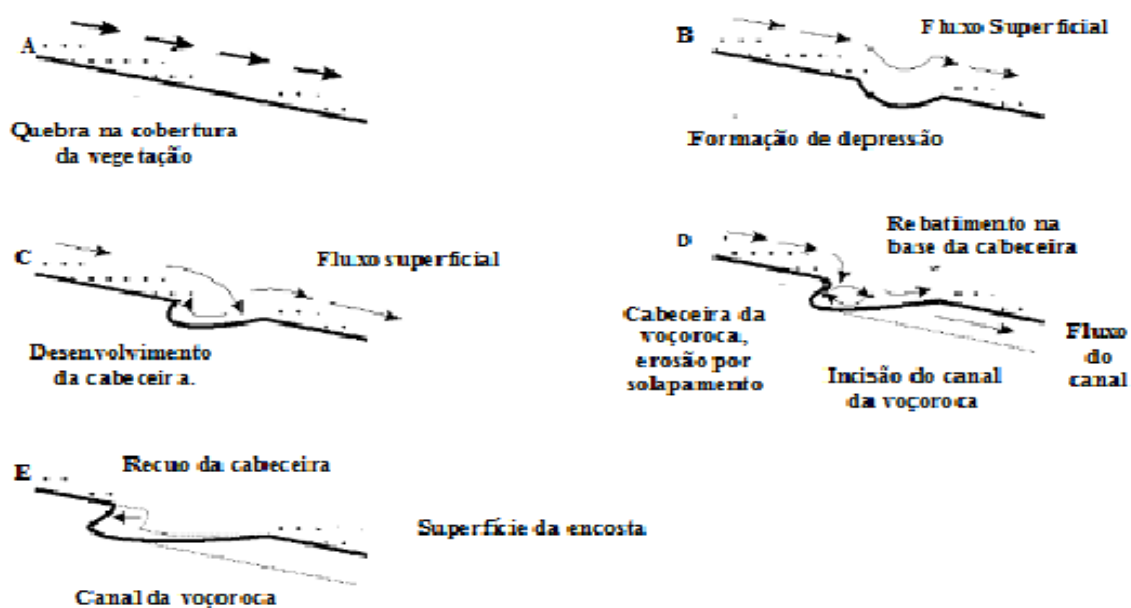


Figura 3. Estágios de desenvolvimento de uma voçoroca (Adaptado de Morgan, 1996).

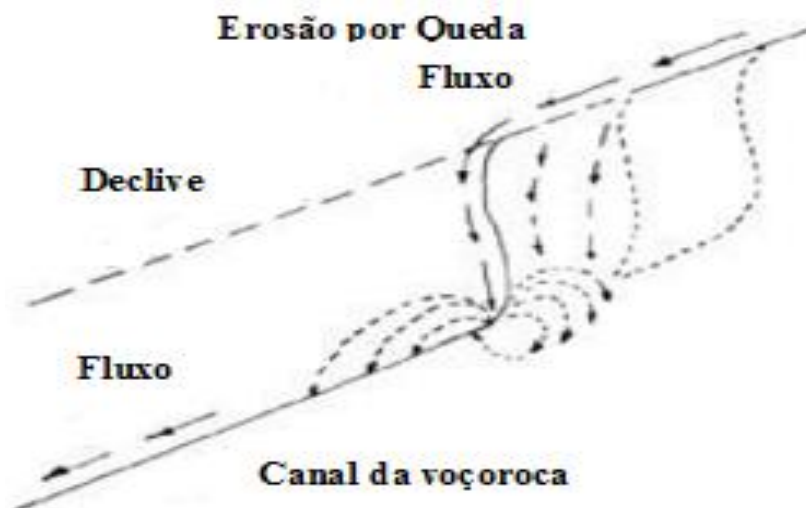


Figura 4. Erosão por queda d'água (FAO, 1986).

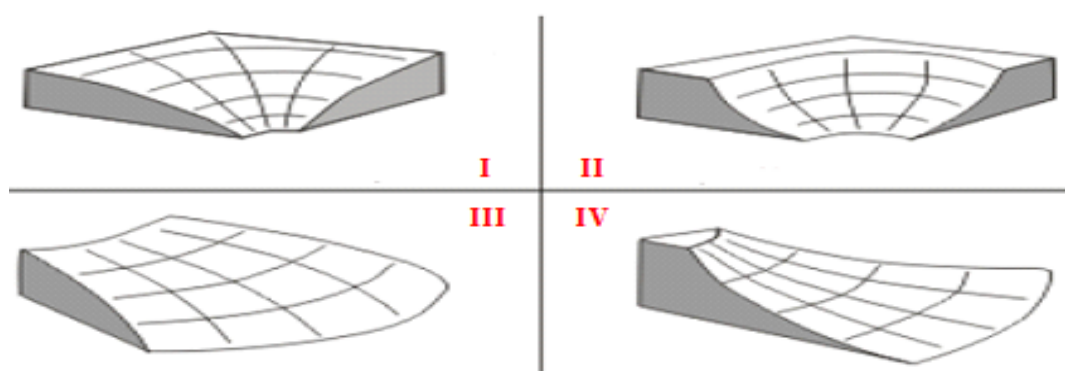
Dentre os fatores que dispõe o solo ao surgimento de *piping* estão: variação sazonal da chuva, solo sujeito a rachaduras em períodos de seca, redução na cobertura vegetal, existência de camada impermeável no perfil do solo, existência de gradiente hidráulico no solo e camada dispersível de solo. Assim, há grande ocorrência de *piping* em áreas de clima semi-árido, com presença de argilas esmectíticas, que possuem forte expansão e contração, e com alta saturação por sódio, que promove a dispersão do solo e desfloculação da argila quando há presença de água no solo. Quando surgem rachaduras no solo, resultados da sua dessecação, estas podem promover rápida infiltração de água da chuva. Esta água infiltrada rapidamente irá atingir uma camada de reduzida condutividade hidráulica o que condicionará o movimento lateral de água em detrimento de sua drenagem em profundidade. Este movimento lateral poderá ser rápido o suficiente para mover partículas de solo e desenvolver um canal, ou, se este solo for dispersível, este perderá sua agregação. O movimento da água pelas rachaduras e espaços será lento até que a surgência da água à jusante, promovendo uma aceleração do fluxo interno da água á montante podendo aumentar um pipe ou gerar uma voçoroca. (Selby, 1993).

Ainda, segundo Selby (1993) o *piping* é particularmente comum nas paredes de voçorocas e cabeceiras de deslizamentos de terras, por onde o fluxo interno de água no solo é subitamente acelerado, gerando uma pressão hidráulica que promove a lavagem das partículas para fora do solo. Este processo de erosão interna pode se expandir a montante muito rapidamente após terem sido iniciados.

Há três processos principais que operam para a formação de voçorocas, que, na maioria das vezes, ocorrem de forma conjunta: escoamento superficial, movimentos de

massa e o *piping* (Selby, 1993). Muitas vezes, as voçorocas são desencadeadas, ou aceleradas, pela combinação de uso inapropriado da terra e eventos extremos de chuvas. Este processo não é limitado a terras áridas, montanhosas e acidentadas, e se constitui em uma causa global de degradação da terra, afetando vasta gama de solos propensos a encrostamento e *piping* (Valentin et al., 2005).

Vários fatores influenciam o processo de voçorocamento, dentre estes se pode fazer a distinção entre fatores antrópicos e naturais/físicos. Dentre os fatores antrópicos, destaca-se: desmatamento; queimadas em florestas e pastagens; super-pastoreio; trilhas formadas por animais e veículos; valas de divisa de propriedades e aceiros; mineração; construção de estradas; preparo inadequado do solo (ex.: preparo morro abaixo) e seu uso intensivo acima de sua aptidão; falta de planejamento e práticas conservacionistas. Dentre os fatores naturais/físicos destaca-se: o fator climático (distribuição, intensidade e erosividade de chuva e produção de escoamento superficial); fatores geomorfológicos (área e formato da bacia de contribuição da voçoroca, e o comprimento e declividade da encosta – figura 5); fatores pedológicos (características dos solos que influenciam a sua erodibilidade, principalmente sua classe textural que é importante para a taxa de infiltração de água e a sua erodibilidade); e o fator vegetação (cobertura vegetal que protege o solo intercepta a chuva e beneficia a estruturação, a porosidade do solo, portanto aumenta a infiltração e reduz volume e velocidade de escoamento superficial (FAO, 1986; Capeche, 2008; Morgan, 1996; Silva et al., 1993; Caseti, 2005, Augustin & Aranha, 1996).



I) Encosta coletora de água, com perfil convexo e linhas de nível côncavas; II) Encosta coletora de água, com perfil côncavo e linhas de nível côncavas; III) Encosta distribuidora de água, com perfil convexo e linhas de nível convexas; IV) Encosta distribuidora de água, com perfil côncavo e linhas de nível convexas.

Figura 5. Fatores geomorfológicos que atuam no escoamento da água e podem propiciar as voçorocas (Adaptado de Caseti, 2005).

Silva et al. (1993) investigaram as relações entre o surgimento de voçorocas com os usos e classes de solo no município de Lavras (MG). Segundo os autores os condicionantes antrópicos, ou seja, os usos do solo, que promoveram o voçorocamento foram: o ciclo da mineração de ouro, na época colonial, através das escavações abandonadas que sofrem a ação das chuvas; o povoamento as margens das voçorocas sem um planejamento adequado; a mineração de calcário e caulim na região foi a atividade que mais propiciou o surgimento de voçorocas; também, as valas limítrofes das propriedades, as trilhas formadas pelo gado nas áreas de pastoreio e as obras viárias mal dimensionadas, contribuem com o voçorocamento através da exposição das camadas subsuperficiais (com maior erodibilidade); as queimadas sucessivas e as operações de preparo do solo “morro abaixo” também agravam esta problemática.

Com relação à pedologia e a litologia da região, os autores destacam os Cambissolos apresentaram a maior taxa de voçoroca/km² e os Podzólicos, seguido pelos Latossolos, as menores. Ainda, os solos provenientes da alteração de micaxisto e quartzitos foram mais suscetíveis ao voçorocamento do que aqueles oriundos da alteração do gnaisse granítico. Portanto, solos que formam sistemas pedológicos mais instáveis (pequena espessura de solum, alta quantidade de areia + silte, declive acentuado, pouca cobertura de vegetação, baixa permeabilidade), são mais propícios ao voçorocamento. (Silva et al., 1993).

2.5 PREVENÇÃO, IMPACTOS E CONTROLE DE VOÇOROCAS

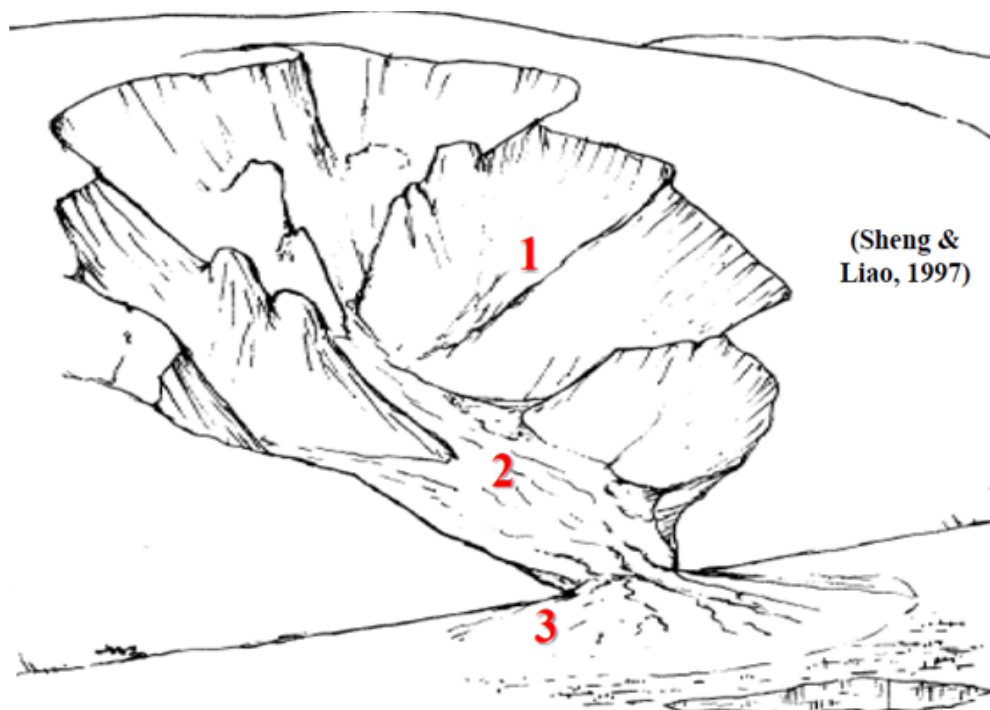
O controle de processos erosivos pode ser feito através de medidas preventivas, evitam o início do processo erosivo (Ex.: adoção de práticas de conservação do solo), e por medidas corretivas, que poderão ser medidas de estabilização ou de recuperação, sendo dependentes do tamanho da voçoroca e da relação benefício-custo, pode-se optar, portanto, pela recuperação total de uma área erodida ou apenas a estabilização da erosão (Camapum de Carvalho, 2006).

O controle de voçorocas fundamenta-se na proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva com o uso de cobertura vegetal; disciplinamento do fluxo de água, superficial ou subsuperficial, e difuso ou, principalmente, concentrado; e facilitar a infiltração de água no solo. Algumas intervenções frequentes: disciplinar o escoamento da água à montante da erosão; obras de drenagem (superficial e subterrânea); estabilização de taludes e cabeceiras; contenção de sedimentos em seu talvegue; recuperação de planícies e

áreas sedimentadas à jusante da voçoroca; e seu reaterro (Sales et al., 2006; Sheng & Liao, 1997). Contudo, salienta-se que as estratégias de recuperação de áreas com presença de voçorocas devem constituir de práticas mecânicas e vegetativas de baixo custo (Andrade et al., 2005). Isto se deve ao fato de haver um grande número deste tipo de processo erosivo no país, assim é necessário pesquisar técnicas alternativas de baixo custo para recuperação destas áreas (Farias et al., 2006).

A recuperação e, ou, estabilização de voçorocas é um processo que demanda tempo, trabalho e capital, muitas vezes oneroso. As terras que possuem este passivo acabam por terem seus valores venais reduzidos, sendo muitas vezes o valor da terra inferior ao da recuperação da voçoroca. Contudo, as voçorocas devem receber algum tratamento para proteção do ambiente no qual está inserida, a fim de evitar danos a propriedades vizinhas, corpos d'água, barragens, estradas, prédios. Assim, de acordo com a dimensão da voçoroca e relação benefício/custo, deve-se optar por sua recuperação total ou estabilização, destinando esta área recuperada ou estabilizada como canal escoadouro, reflorestamento e preservação de flora e fauna e, até mesmo, reincorporá-la ao processo produtivo agropecuário (Bertolini & Lombardi Neto, 1994; Capeche et al., 2008).

Sheng & Liao (1997) descrevem uma técnica de controle de voçorocas para a região sul da China, onde há ocorrência de chuvas torrenciais que erodem o solo. Os autores utilizam o termo “*Broken hills*” para designar voçorocas que ocorrem em morros, pois estas promovem a separação de suas encostas em duas porções distintas. Para o tratamento das voçorocas distinguem três seguimentos distintos da voçoroca, cada um com um ambiente de erosão e deposição distintos, sendo estes: a zona da cabeceira, o talvegue da voçoroca e a zona de deposição (Figura 6). Desta forma os autores preconizam que, para o sucesso do controle da erosão, é necessário um controle integrado da voçoroca, envolvendo a estabilização dos taludes da voçoroca, redução da erosão e movimento de sedimentos no canal (talvegue) da voçoroca e controle da sedimentação em áreas a jusante da voçoroca.



1) Cabeceira da voçoroca – zona de intensa atividade erosiva (Movimentos de massa, solapamentos, erosão em sulcos e laminar); **2)** Talvegue da voçoroca – zona de maior transporte de sedimentos pelo escoamento de água; **3)** zona de deposição – onde o solo é sedimentado formando um coluvião.

Figura 6. Seguimentos distintos da voçoroca.

Algumas medidas são indicadas para a estabilização do processo erosivo: isolamento da área afetada com cerca, evitar acesso de gado, trânsito de máquinas que formem trilhas e favoreçam o sulcamento do solo e dificultem o crescimento da vegetação; drenagem da água subterrânea, se a voçoroca interceptar o lençol freático ocorrerá o surgimento de minas de água que promoverão a instabilidade do solo, por isso esta água deverá ser drenada, com drenos de pedras ou feixes de bambu, a um leito estável; controle da erosão em toda a bacia de captação de água para a voçoroca, a fim de evitar que a água, de áreas circunvizinhas a voçoroca, drenem para esta erosão, assim indicasse a construção de terraços, plantio em nível, cobertura vegetal; Suavização dos taludes da voçoroca, pois os flancos das voçorocas são íngremes e, portanto, é necessário serem suavizados (relação 3:1) para aumentar sua estabilidade e facilitar o crescimento da vegetação protetora do solo; construção de paliçadas ou pequenas barragens no interior da voçoroca, estas estruturas são construídas perpendiculares ao canal da voçoroca, para reduzir a velocidade de escoamento da água e conter sedimentos, e podem ser de madeira, pedra, terra, gabião; vegetação da voçoroca e área de contribuição, dependerá das dimensões da voçoroca e de utilização futura da área para atividades agrícolas ou civis, contudo indicasse o uso de

plantas rústicas, com boa cobertura do solo, sistema radicular abundante, adotando-se uma vegetação protetora composta de gramíneas, leguminosas e essências florestais (Figura 7) (Bertolini & Lombardi Neto, 1994; Capeche et al., 2008).

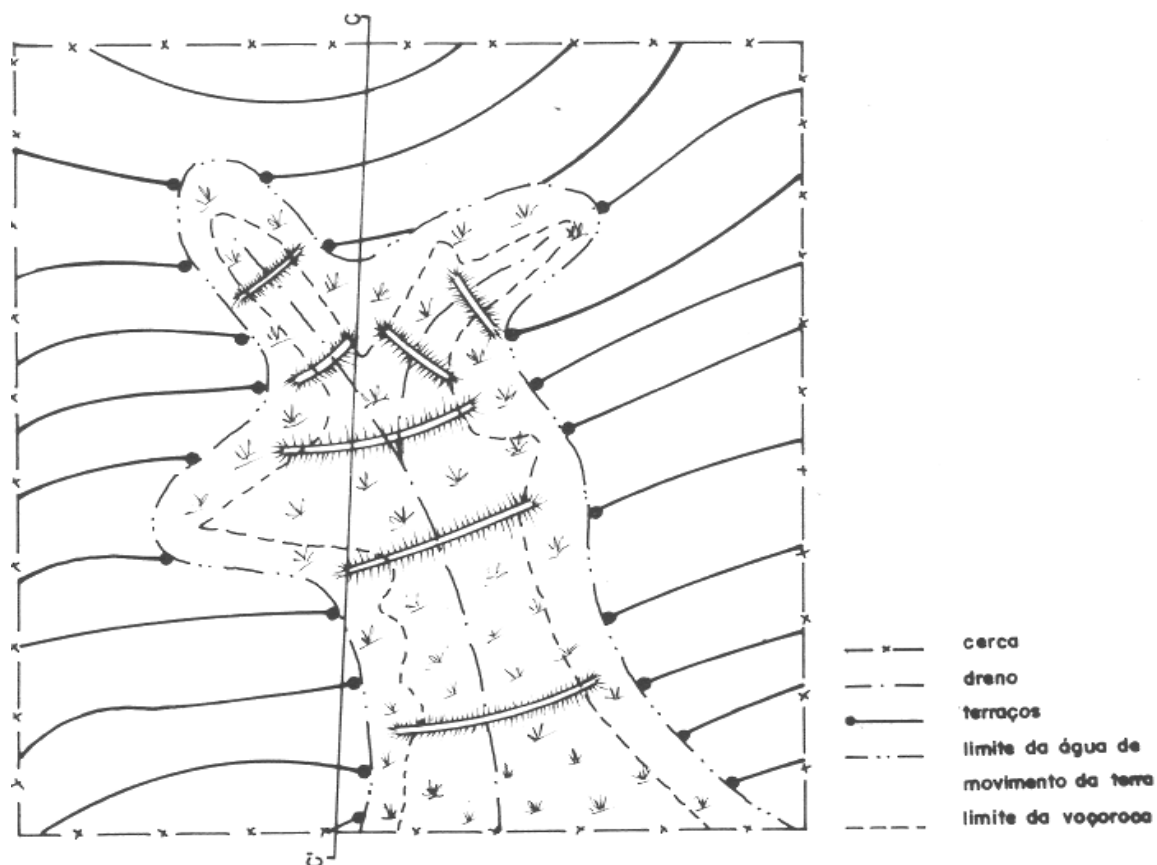


Figura 7. Esquema de práticas de contenção de voçorocas (Bertolini & Lombardi Neto, 1994).

Outro material que pode ser utilizado na recuperação de voçorocas são os Geotêxteis. Estes possuem promovem a proteção de taludes, até que a vegetação se desenvolva e seja capaz de cumprir este papel, como separadores, em drenagem subterrânea, e como reforçadores do solo, para que este suporte maior carga. Fernandes et al. (2009) testaram a eficiência de vários tipos de geotêxteis, com ou sem com vegetação (mistura de gramíneas e leguminosas), na proteção de taludes e redução da erosão. Os autores constataram que o uso desta manta proporcionou a redução da perda de solos. O uso da vegetação melhorou os resultados de perda de solo para todos os tipos de geotêxteis estudadas.

A revegetação protege o solo contra o impacto direto da gota de chuva (redução da *splash erosion*); promove a estabilização do solo, melhora a infiltração e armazenamento da água da chuva; redução no transporte de sedimentos e do escoamento

superficial. (Capeche et al., 2008; Pereira, 2006). Andrade et al.(2005) sugeriram as seguintes práticas vegetativas para recuperação de voçoroca: plantio do capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides nash*) em cordões vegetados, leguminosas inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos. Nos taludes, os autores sugerem o plantio de espécies arbóreas de porte baixo em consórcio com leguminosas herbáceas como o feijão-bravo do Ceará, feijão Guandu anão. A revegetação dos taludes é essencial para a recuperação de voçorocas e o plantio de espécies de interesse econômico incentiva os fazendeiros a preservar a cobertura vegetal do solo (Sheng & Liao, 1997).

O uso do capim-vetiver é uma alternativa viável no controle de processos erosivos e estabilização de taludes, pois sua raiz chega a 4 m de profundidade e possui alta resistência tênsil, além de não ser uma espécie invasora (Pereira, 2006). Contrastando com a eficácia do vetiver, Farias (2006) faz ressalvas quanto ao uso e presença de bambus e bananeiras em taludes, pois possuem sistema radicular fraco, elevam a umidade do solo deixando-o menos consistente e sua altura pode promover instabilidade em talude.

Valentin et al. (2005) destacam a importância da vegetação na prevenção e controle das voçorocas. Segundo os autores, a cobertura vegetal é muitas vezes menosprezada em relação a seu potencial de controle de incisões e evolução de processos erosivos. Para um efetivo controle e prevenção de voçorocas é necessário que medidas de conservação do solo sejam adotadas em larga escala, ou seja, em toda bacia de contribuição, não se limitando somente às voçorocas.

O controle da erosão na região sul da China utiliza os recursos disponíveis, como se trata de um local pobre e densamente povoado, os trabalhos de controle de erosões usam muito trabalho manual, já que este acaba sendo mais barato do que o uso de máquinas e de materiais de construção. Como a população local é alta, pressão há uma grande pressão sobre a vegetação, sendo a cobertura vegetativa fundamental para a eficiência do controle da erosão. Assim, é necessário que as práticas mecânicas de controle da erosão sejam acompanhadas por políticas que protejam a vegetação, sendo desde incentivos a preservação da flora, a coerção se esta for suprimida, programas de educação para a conscientização da importância de prevenir e controlar a erosão e, se possível, utilizar plantas para a recuperação de áreas degradadas que tenham algum valor econômico para encorajar a preservação ambiental (Sheng & Liao, 1997).

Outra medida de recuperação de voçorocas que pode ser adotada é o seu reaterro, que deve ser utilizada quando for viável técnica e financeiramente. Sua adoção

esta relacionada ao valor comercial da área afetada, sendo viável em recuperação de ruas e estradas (áreas urbanas) atingidas por voçoroca. Esta medida é a última a ser adotada, e deve ser precedida pelo disciplinamento da água para que o aterro não seja erodido. Os materiais usualmente adotados para esta medida são o solo, entulhos e o lixo. Destes o mais adequado é o solo, porém necessita de grande volume e gera dano ambiental no local de empréstimo, além do alto custo com transporte. O entulho pode resolver dois problemas ambientais, o controle da erosão e a disposição de resíduos. Contudo, o entulho lançado nas erosões é muito heterogêneo (resto de materiais de construção, lixo domiciliar, matéria orgânica de podas e capinas, materiais de difícil decomposição como pneus, latas, vidros etc...). Os materiais usados para aterro de erosões devem ter maior homogeneidade e serem inertes. Assim, ao usar entulhos para reaterros, deve-se considerar: o risco de poluição da água, a deformabilidade do terreno aterrado, pois entulhos com alta permeabilidade podem gerar risco de erosão interna, a destinação desta área aterrada, devendo-se considerar se ainda será construída alguma estrutura sobre a mesma. E por fim, o uso do lixo em reaterros de voçorocas é uma prática bastante utilizada, embora desaconselhada, pois o lixo contamina o solo e a água. (Camapum de Carvalho et al., 2006)

Uma técnica alternativa para o controle de erosões foi proposta por Sparovek (2001), utilizando cerca de 130 mil pneus inservíveis como materiais de preenchimento de uma voçoroca, por meio de duas técnicas: uso dos pneus para a construção de diques e o enterrio completo dos pneus no fundo da voçoroca, que apresentou maior sucesso no controle da erosão, apesar do maior consumo de pneus. A vantagem dessa técnica é criar uma opção viável para a recuperação de grandes erosões e dar destinação adequada à grande quantidade de pneus inutilizados, que podem servir como ambiente de procriação de *Aedes aegypti*, o mosquito transmissor da dengue. Esta técnica não apresentou até o momento ser poluidora, pois os pneus são considerados resíduos inertes, não liberando os metais pesados de sua composição (Cappi, 2004).

Quando as voçorocas tem sua gênese relacionada a, principalmente, processos superficiais, o foco para o seu controle é aumentar a taxa de infiltração do solo local. Contudo, se as voçorocas são provocadas pelo fenômeno do *piping* é necessário, além de aumentar a infiltração, aumentá-la de modo uniforme. Como árvores e gramíneas possuem sistemas radiculares com diferentes densidades e profundidades, sua mistura pode fazer com que ocorra maior infiltração sob as arvores o que poderá intensificar o *piping*. Mesmo que este sistema de tubos subterrâneos tenha sido rompido por ação de subsoladores, a concentração de água no solo

pode fazer com que estes tubos reapareçam. Portanto, a melhor prática vegetativa para o controle de erosão interna é estabelecer uma cobertura densa e uniforme de gramíneas (Morgan, 1996). Os procedimentos de recuperação de uma área com *pipings* incluem a destruição de tuneis existentes com seu preenchimento, revegetação e o tratamento químico com gesso agrícola em solos com alta concentração de Sódio para diminuir sua dispersão (Selby, 1993).

Apesar de as estratégias de conservação do solo terem se mostrado efetivas no controle de voçorocas, estas raramente são adotadas pelos fazendeiros ao longo do tempo e em larga escala. Tanto os cientistas quanto os agentes do poder público não tem uma idéia clara das razões que fazem com que estas estratégias não sejam aceitas. Entretanto, para que estas estratégias sejam adotadas pelos produtores rurais, estas devem estar associadas com um rápido benefício em termos de produtividade da terra e do trabalho. Se a carga de trabalho de uma propriedade de agricultura familiar aumentar, devido a um processo erosivo, esta carga de trabalho extra recairá para sobre os integrantes da família que tem menos resistência para o trabalho braçal. Também, a intenção de adotar novas medidas de conservação do solo está muitas vezes relacionada à percepção do perigo que uma voçoroca pode representar para o fazendeiro (Valentin et al., 2005).

2.6 CUSTOS ECONÔMICOS ASSOCIADOS AOS IMPACTOS DE PROCESSOS EROSIVOS

Os efeitos nocivos da erosão têm sido estudados há muito tempo. Bennett (1933), um dos pesquisadores precursores do estudo da conservação do solo, relata que grandes extensões de terras férteis nos Estados Unidos foram degradadas pela erosão. A perda do horizonte superficial do solo elevou o custo e o trabalho necessário para cultivá-lo, além de ter propiciado uma redução na produtividade e, em casos extremos, provocou o abandono da terra. A erosão também tem gerado danos externos aos locais onde ocorre a erosão, como a sedimentação de reservatórios, danos a planícies aluviais, a estradas, ferrovias e maior risco de inundações. O autor, também, cita números alarmantes sobre o problema, a saber: a erosão retira cerca de 21 vezes a quantidade de nutrientes retiradas pelas culturas. As medições das perdas de solo indicam que pelo menos três bilhões de toneladas de solo são perdidas por ano das áreas agrícolas e pastagens norte-americanas. O valor dos nutrientes contidos neste solo perdido excede a casa de dois bilhões de dólares. A perda direta dos fazendeiros era da ordem de quatrocentos milhões de dólares por ano. Este prejuízo é pago na forma de perda de produtividade, custos com cultivo, fertilização de um

solo empobrecido, redução da profundidade do solo, abandono da terra e danos a estruturas e externos a propriedade.

Destacam-se os altos valores e impactos causados pela erosão já numa época tão remota. Este artigo escrito na década de 1930 é, portanto, anterior a revolução verde, quando houve intensificação no uso de insumos e implementos agrícolas.

No Brasil, os valores de perda de solo pela erosão laminar, de acordo com Marques¹ (1949), citado por Bertoni & Lombardi Neto (2008), são da ordem de quinhentos milhões de toneladas por ano, correspondente ao desgaste uniforme de uma camada de 15 cm de espessura numa área de cerca de 280.000 ha. Ainda, esta perda anual de solo corresponde a oito milhões de toneladas de nutrientes (N, P, K) carreados do solo. Segundo, os mesmos autores a erosão teve efeito negativo na produção de milho, e quanto mais profunda a camada erodida, maior foi a redução.

Segundo Lombardi Neto & Drugowich (1994), somente no estado de São Paulo perde-se por ano 194 milhões de toneladas de terras férteis, o que representa uma perda de 20 cm de solo de uma área de 100.000ha. Esta perda de solo representa, em termos de nutrientes, o equivalente a US\$ 200 milhões em fertilizantes. A erosão do solo representa a perda de 5 kg de solo para a produção de 1 quilo de milho, ou 10kg de solo para cada 1 quilo de soja produzida, ou 12 kg de solo perdido para cada quilo de algodão produzido. Considerando a perda de água, perde-se, por ano, o equivalente a 10 bilhões de metros cúbicos, o que equivale a um rio de vazão de $314 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante um ano, ou um lago de dimensões de 90km X 5km X 20m, volume de água suficiente para abastecer 100 milhões de habitantes num ano.

Globalmente, estima-se que a área total afetada pela erosão, de moderada a severa, é de 1028 milhões de hectares, sendo que desta área cerca de 748 milhões de hectares são afetadas pela erosão hídrica (Craswell, 2009). Corroborando com estes dados, Pimentel et al. (1995) estimaram que cerca de 80% da terra destinada a agropecuária do mundo é afetada por erosão moderada a severa; e que o solo sob uso da agricultura é mais susceptível a erosão por passar por seguidas arações e, muitas vezes, sendo deixados sem cobertura, portanto, desprotegidos. Os autores afirmam ainda que a erosão em países

¹ MARQUES, J. Q. A. Política de Conservação do Solo. Ministério da Agricultura. 1949. 73p. (Boletim S.I.A., Serviço de Informação Agrícola, 734)

tropicais em desenvolvimento é ainda mais dramática. As taxas de erosão em países da África, Ásia e América do Sul atingem taxas médias de 30 a 40 t ha⁻¹ ano⁻¹

Segundo Murck et al. (1996), a taxa global de perda de solo foi estimada em 25 bilhões de t ano⁻¹. Nos últimos 20 anos, estimou-se a perda de 480 bilhões de t das camadas superficiais do solo e estimaram-se perdas de 4,5 t de solo por pessoa ao ano. Com base nestes altos valores de perda de solo, pode-se deduzir que este recurso não é renovável, pois sua formação ocorre em período de tempo prolongado, ao passo que sua perda se dá em taxas elevadas. Assim o recurso natural solo está se degradando e tornando-se cada vez mais escasso.

A tolerância de perda de solo é a quantidade de terra que pode ser perdida por erosão, mantendo o solo produtivo por longo período de tempo. O estabelecimento de uma taxa de tolerância depende de propriedades do solo, como: profundidade, topografia e erosão antecedente. A dificuldade de se estabelecer um nível de tolerância está em determinar o quanto de erosão é permissível. Este problema seria facilmente superado se a perda de solo ocorresse na mesma intensidade em que o solo se forma, contudo este tempo de formação não pode ser determinado de modo preciso (Bertoni & Lombardi Neto, 2008).

Deste modo, é difícil reconhecer quando há este balanço, entre perda e formação do solo. Apesar de ser possível de se quantificar a perda de solo, a taxa de formação do solo é tão lenta que dificulta sua determinação. Assim, uma abordagem alternativa, que evita a necessidade de se medir a taxa de formação de um novo solo diretamente, é a estimativa de uma taxa de formação que equilibre a taxa de perda por erosão, em áreas onde há uma condição de equilíbrio natural, como matas nativas (Morgan, 1996).

Um critério alternativo ao valor T (tolerância de perda de solo) é o método do índice de tempo de vida do solo. O valor T considera a preservação do solo. Assim, quando as taxas de erosão do solo são superiores a sua renovação, há diminuição de sua espessura. Definiu-se uma espessura mínima, abaixo da qual os insumos (fertilizantes, resíduos de culturas) e a tecnologia de manejo (irrigação, culturas geneticamente melhoradas) são insuficientes para manter produção economicamente viável. Assim, taxas de erosão maiores do que as de formação são toleradas somente durante o período no qual não se atingiu a espessura mínima. Este período foi definido como tempo-de-vida do solo (Sparovek et al., 1997).

Existem razões que tornam a erosão um problema econômico e, também, razões pelas quais os fazendeiros deixam de investir na conservação do solo. Para Alfsen (1996), a degradação do solo, muitas vezes, constitui-se num processo gradual, que implica em pequenas mudanças anuais que são de difícil percepção. Deste modo, torna-se difícil relacionar a erosão com a perda de produção. Também, as inovações tecnológicas podem mascarar os impactos da degradação do solo. De acordo com o autor, na Nicarágua houve grande subsídio para aquisição de fertilizantes e pesticidas, durante os anos 1980, o que aumentou as produções e mascarou os impactos da degradação. Ainda, mesmo se os fazendeiros quisessem e soubessem como prevenir ou remediar a degradação, seria muito caro, e os custos para a conservação do solo são imediatos, enquanto que seus benefícios ocorrem em longo prazo. Somando-se a estes fatos, há, também, a insegurança na posse da terra, que previne o fazendeiro em investir em longo prazo em sua terra e uma política econômica que limita o crédito, dificultando a geração de renda, adoção de práticas culturais menos erosivas e que pode culminar no abandono da terra.

Segundo Barbier (1995), dentro de uma perspectiva econômica, a conservação do solo implica em “economizar solo para seu uso futuro”. Contudo, o fazendeiro pode escolher usá-lo mais intensamente, à custa de mais erosão e menos solo disponível para o futuro. Assim, a taxa ótima de conservação do solo não condiz com a eliminação da erosão ou sua redução a uma taxa considerada ideal. Isto se deve ao fato de que a conservação do solo possui custos, então não é ideal reduzir a erosão a zero, mesmo sendo tecnicamente possível. Deste modo, a erosão gera para o fazendeiro custos diretos, relacionado ao dispêndio de esforço, materiais, equipamentos, estruturas requeridas para empreender as medidas de conservação do solo; e custos indiretos, na forma da perda de produção corrente que resulta do menor uso do solo no presente. Em contraposição aos custos da erosão, os benefícios gerados pela conservação do solo são relacionados a ganhos presentes e futuros, por se ter mais solo disponível, considerando um ativo econômico que pode ser explorado pelo cultivo para produzir um fluxo de renda presente e futura. Sua conservação pode ter influência na valorização da terra para o futuro em decorrência de se ter mais terra produtiva através da conservação.

O custo da erosão não é tão dependente da quantidade de solo perdida quanto é dos efeitos econômicos destas perdas. A erosão do solo possui efeitos *onsite* (internos) e *offsite* (externos). Os efeitos *onsite* referem-se a efeitos no local de onde o solo foi removido, sendo a perda de produtividade do solo seu principal efeito. Já os efeitos *offsite*

envolvem o impacto da deposição do solo na forma de sedimentação, eutrofização de corpos d'água, danos a redes de drenagem e cursos d'água, aumento de enchentes em baixadas (Alfsen et al., 1996). Exemplos dos danos provocados por estes tipos de erosão são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Exemplos de danos *on-site* e *off-site* associados com a erosão hídrica (Marshall et al., 1999).

<i>on-site</i>	<i>off-site</i>
Perda de nutrientes e matéria orgânica; Redução da profundidade da camada superficial e armazenamento do solo; Danos a estrutura e a Biota do solo; Redução da produção agrícola.	Sedimentação dos corpos d'água; Poluição química de água e solo; Danos a estradas e infraestrutura; Enterrio de produções <i>off-site</i> ; Turbidez da água.

Os efeitos *on-site* da erosão associam-se a perda da eficiência da produção agrícola devido ao processo erosivo. Deste modo, os custos internos são absorvidos pelos próprios produtores rurais, os quais tem seus custos de produção aumentados em médio e longo prazos. Os efeitos externos são absorvidos por outros agentes econômicos que sofrem, principalmente, com o processo de assoreamento dos recursos hídricos. Contudo, estes custos não estão incluídos nos custos privados do produtor/degradador (Rodrigues, 2005).

Para Barbier (1995), as taxas privadas de erosão, em geral, divergem das taxas sociais, pois os fazendeiros preocupam-se mais com os custos *on-site* da erosão, contudo, a sociedade deve, também, preocupar-se com os custos *off-site* ou externos. Externalidades são os custos ou benefícios decorrentes de um processo de produção ou consumo, os quais não são refletidos nos preços de mercado. Uma externalidade negativa resultante da erosão do solo em áreas agrícolas é a sedimentação de reservatórios e das redes de drenagem. Já a proteção do solo, proveniente da plantação de árvores e culturas perenes é um exemplo de externalidade positiva. Estes custos e benefícios *off-sites* não estão contidos nos preços dos produtos agrícolas e nas tomadas de decisão dos fazendeiros, mas fazem parte dos impactos econômicos da degradação ambiental. Portanto, é fundamental avaliar os custos gerados pela erosão tanto *on-site* quanto *off-site*. Ainda segundo Barbier (1995), a mensuração de custos *on-site* objetiva estimar o valor presente da renda líquida perdida através da erosão excessiva, ou seja, é a diferença entre o valor presente do retorno líquido do sistema produtivo com conservação e o valor presente do retorno líquido do sistema

produtivo com erosão. São adotadas duas abordagens para sua aferição: método da mudança da produtividade e o método do custo de reposição. Sendo, que para o autor, ambas as abordagens são falhas e superestimam os custos *on-site* da erosão. Já a mensuração dos custos *off-site* tem como objetivo principal, estimar o valor presente de qualquer custo externo decorrente da sedimentação e outros impactos à jusante do local erodido.

Pimentel et al. (1995) estimaram os custos *on-site* e *off-site* da erosão para os Estados Unidos, em 44 bilhões de dólares ao ano. Este valor evidencia a gravidade do problema da erosão para o meio ambiente e para economia. Contudo, Boardman (2006), chama a atenção para que a comunidade científica tenha certo ceticismo em relação a trabalhos como o supracitado devido à falta de uma metodologia consagrada no aferimento dos custos gerados pela erosão à economia.

Marques & Pereira (2004) realizaram a mensuração econômica dos efeitos *on-site* da erosão do solo a partir do custo de reposição dos nutrientes perdidos pelo uso agrícola do solo nas bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Jaguarí (SP). O custo de reposição dos nutrientes do solo, tem como base a hipótese que ao perder a condição natural de fertilidade através do impacto gerado pela erosão hídrica, o ativo ambiental (solo) perde qualidade ambiental e a reposição desta pode, em parte, ser feita pela recuperação das condições necessárias à manutenção da qualidade do ativo ambiental. Portanto, este método estima valores dos custos associados aos efeitos internos à área de produção agrícola. Os autores ainda salientam que uso do método de custo de reposição de nutrientes é uma “*proxy*” para a estimativa da valoração ambiental de impactos, e que os valores obtidos através deste método, subestimaram o custo total da erosão. Os autores calcularam o valor econômico das perdas de solo pela fórmula:

$$\text{Valor econômico das perdas de solo} = Q_n (P_n + C_a) + (P_p * Q_p)$$

em que: Q_n = fertilizantes carregados pela erosão; P_n = preço dos fertilizantes; C_a = custo de aplicação; P_p = preço do produto agrícola; Q_p = redução da produtividade a longo prazo, devido a erosão.

Os resultados obtidos por Marques & Pereira (2004) mostram que o valor monetário dos custos gerados pela erosão na Bacia do rio Atibaia, com área de 4.290 km² e perda de solo em torno de 316.000 t ano⁻¹, foi da ordem de US\$ 336 mil. Deste valor, a reposição de N via sulfato de amônio correspondeu 90% dos valores totais das perdas. A estimativa do valor econômico da perda de solo agrícola na Bacia Hidrográfica do Rio

Jaguarí, com área de 2.760 km² e perda média de solo de 675.000 t ano⁻¹, foi da ordem de US\$ 715 mil por ano.

A reposição de nutrientes por meio de fertilizantes industrializados resulta em custos adicionais aos produtores, mas refletem apenas uma parte dos danos ambientais causados pela erosão do solo agrícola (Marques & Pazzianotto, 2004). A Embrapa Meio Ambiente disponibiliza uma ferramenta em seu site, capaz de realizar cálculos econômicos das perdas de solo através do método do custo de reposição. Assim, agricultores, associações de produtores, cooperativas e extensionistas podem, a partir de informações e dados relativos à sua exploração agrícola e bacia hidrográfica, calcular os custos econômicos da erosão no solo agrícola.

Bertol et al. (2007) quantificaram a perda de P, K, Ca e Mg de um Cambissolo Húmico, sob preparo convencional, preparo mínimo e semeadura direta e constataram que as perdas de solo foram fortemente influenciadas pelo sistema de manejo. A semeadura direta e preparo mínimo apresentaram valores de perdas monetárias similares. Contudo, os valores monetários das perdas anuais de P, expressos na forma de superfosfato triplo, de K, expresso como cloreto de potássio e de Ca e Mg, na forma de calcário, por erosão hídrica, foram relativamente elevados, independentemente do sistema de manejo do solo. O valor monetário da perda na semeadura direta foi da ordem de US\$ 14,83 por hectare por ano. No preparo mínimo foi de US\$ 16,33 e no plantio convencional de US\$ 24,94.

Rodrigues (2005) valorou os impactos *on-site* e *off-site* dos sistemas de plantio direto e convencional, do milho e soja, no município de Mineiros (GO), representativos do Cerrado, usando o método custo-reposição. Rodrigues (2005) realizou a valoração econômica dos efeitos do processo erosivo no custo de reposição de nutrientes dos solos nas tecnologias de plantio abordadas e dos efeitos do processo de assoreamento dos recursos hídricos nas tecnologias de plantio abordadas no custo de reposição para companhia de recursos hídricos.

Se os produtores do município utilizassem o sistema convencional no plantio da soja e milho, o custo anual com reposição de nutrientes seria de R\$ 227.482,46, ou seja, um valor médio de R\$ 4,10 por hectare. Contudo, se os produtores adotassem o plantio direto teriam um custo médio com reposição de nutrientes de R\$ 1,06 por hectare, ou seja, um custo anual com reposição de nutrientes de R\$ 58.949,48. Considerando as externalidades (custo *off-site*) dos sistemas de plantio, em relação a erosão e captação, o custo da erosão sobre a captação de água no município, constatou que o plantio

convencional geraria um custo sobre o sistema de captação de água em R\$ 89.730,93 /ano, enquanto que no sistema de plantio direto os custos ambientais seriam da ordem de R\$ 22.426,28 / ano.

Percebe-se, o alto custo, tanto privado quanto social, da erosão. Também, a erosão está relacionada ao tipo de manejo empregado, ou seja, a adoção de tecnologia e planejamento no uso do recurso ambiental solo.

2.7 CUSTOS COM A RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCAS

As voçorocas são processos erosivos que provocam degradação ambiental de modo abrangente. Este fenômeno tem recebido cada vez mais atenção por parte da comunidade científica, este fato é corroborado pela realização de duas conferências internacionais, sendo uma realizada em Leuven, Bélgica (Poesen and Valentin, 2003) e outra em Chengdu, China (Li et al., 2004) (Valentim et. al, 2005). Na literatura é possível encontrar artigos científicos caracterizando a amplitude desta problemática. Radoane et al. (1995) mapearam 9.000 voçorocas distribuídas em 25.000 km², na Romênia. Nascimento (1994) mapeou 45 voçorocas em 801 km² em Goiânia (GO). Santana et al. (2007) encontraram 304 feições erosivas na alta bacia do Rio Araguaia (GO e MT), dentro de 62.000 km². Bennett (1933) indicou que as voçorocas degradaram cerca de um milhão e meio de acres no estado de Oklahoma, e que outros estados norte-americanos sofriam com intenso processo de voçorocamento. O autor indicou que houve um esforço voltado ao controle das voçorocas e que vários métodos estavam sendo testados.

Para Valentim et al. (2005) as voçorocas geram impactos sociais e ambientais, através de danos nos seguintes compartimentos: sistemas de cultivo, funções hidrológicas e produção de sedimentos. Os impactos nos sistemas de cultivos ocorrem na forma de redução da fertilidade do solo, através da perda repentina do horizonte superficial do solo, perda de área e aumento nos custos de trabalho, devido ao incremento de trabalho necessário para prevenção e controle desta erosão. Há, também, mudança no padrão de cultivo dentro de uma propriedade rural que sofre com este tipo de erosão. O desenvolvimento de voçorocas perpendiculares ao contorno da propriedade reduz às opções do fazendeiro com respeito ao padrão de uso da terra e influencia a relação entre parcelas em pousio e cultivadas. Os danos às funções hidrológicas ocorrem pelo aumento da drenagem de uma área causada pela voçoroca, pois nestas ocorre à concentração do

escoamento em seus canais, assim privando a água de irrigar toda a extensão de um vale. A produção de sedimentos dentro de uma bacia hidrográfica pode estar concentrada em locais específicos, que passam por processo erosivo intenso, como os voçorocamentos.

Apesar de muitas estratégias de prevenção e combate de voçorocas terem obtido sucesso, raramente são aplicadas pelos fazendeiros em larga escala (Valentim et al., 2005). Segundo Morgan (1996), a capacidade dos fazendeiros adotarem medidas de conservação do solo depende de seu acesso a recursos necessários para tal, como o conhecimento de tecnologias e capacidade de investimento para implementá-las. Assim, é um contra-senso projetar um programa de conservação do solo que requeira um aporte de recursos, sejam eles insumos ou trabalho, acima da capacidade de investimento dos fazendeiros. Contudo, deve-se reconhecer que muitos fazendeiros usam conhecimento, trabalho e iniciativa própria para desenvolver medidas de conservação, das quais os próprios se beneficiarão, conforme o exemplo a seguir.

Tôsto et al. (2000) realizaram estudo a respeito do intenso voçorocamento pelo qual sofre o município de Lagoa Dourada (MG). Segundo os autores a criação extensiva de gado, a utilização de práticas de manejo e conservação do solo inadequadas, como a aração morro abaixo, são desencadeadores do processo, tendo conseqüências negativas para a região. A dimensão do problema, nos âmbitos econômicos, ambientais e sociais, abrange a redução da oferta de produtos na economia local/regional/estadual ocasionada pela queda da produção e produtividade, perda de área agricultável, queda no preço da terra, gastos adicionais com fertilizantes, assoreamento de rios e nascentes.

A falta de conhecimento técnico por parte dos fazendeiros e dificuldades financeiras intensificou o processo de degradação na região. Tôsto et al. (2000), verificaram que 42% das propriedades avaliadas sofrem com erosão, manifestadas como voçoroca em 90% das propriedades e com dimensão média de três hectares por propriedade. Dos fazendeiros que sofrem com erosão, 86% adotaram alguma técnica para conter/recuperar/evitar a degradação do solo, dos quais 10 tiveram dificuldades (70% tiveram dificuldades financeiras e 60% técnicas). A erosão também afetou o preço da terra, surgindo uma diferença de 86,67% entre uma propriedade padrão sem erosão (US\$ 3.000,00 ha⁻¹), e outra que sofre com erosão (US\$ 40,00 ha⁻¹) (Tôsto et al., 2000).

Os ganhos com a adoção de uma alternativa tecnológica bem sucedida para controle de voçoroca foram avaliados por Tôsto et al. (2000) com base na disponibilidade de recursos físicos, materiais e conhecimento técnico de um fazendeiro local, cuja

propriedade possuía uma voçoroca de 1,5 hectares, canal de 120m de extensão e com presença de água. Após a recuperação desta erosão, formou-se um pasto no local para uso na pecuária leiteira, assim, tornando dois hectares, que estavam fora do processo produtivo, disponíveis após sua recuperação. O custo total da técnica de recuperação, em dólares (1997), foi de US\$ 2.951,00 para toda a área, o que correspondeu a US\$ 1967,00 por hectare. Através de análise custo-benefício, constatou-se viabilidade técnica e econômica do processo de recuperação.

Para a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 1986), ao se considerar o controle de voçorocas, a prevenção é a melhor solução. As intervenções realizadas em estágios iniciais são mais econômicas do que aquelas realizadas em estágios mais avançados. Uma pequena voçoroca, ou ravina, pode ser facilmente reparada, porém se é permitido seu avanço, esta pode alcançar proporções além de uma recuperação economicamente viável. Assim, na maioria das situações, o controle de voçorocas é destinado à prevenção de maiores danos e perdas de áreas produtivas do que a recuperação destas áreas para uso agrícola. Os projetos para controle de voçorocas podem ser avaliados usando o método da relação custo/benefício, valor presente líquido ou o método da taxa interna de retorno. Mesmo se o custo de recuperação for alto, geralmente é econômico a proteção do solo contra danos adicionais.

Através do programa estadual de microbacias hidrográficas do Estado de São Paulo e da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), no período de 2002 a 2008, foram controladas 2138 voçorocas, com um custo de R\$ 3.047.082,00, tendo beneficiado 1494 produtores. O controle destas erosões representou ganho ambiental, econômico e social (CATI, 2008).

Segundo Machado et al. (2006) é possível conter a evolução de voçorocas de modo eficiente e a custos reduzidos, utilizando-se mão-de-obra familiar e materiais alternativos existentes na propriedade rural. Por exemplo: controlar a erosão à montante da voçoroca, favorecer a retenção de sedimentos na parte interna da voçoroca através de práticas simples e materiais de baixo custo e, por último, a revegetação das áreas de captação (cabeceira) e interna da voçoroca com espécies vegetais adaptadas ao local, de preferência gramíneas.

Machado et al. (2006) descrevem a recuperação de uma voçoroca com a adoção desta técnica, no município de Pinheiral (RJ), em uma área de 15.000 m² e custos da ordem de R\$ 10.904,10. Deste montante, 64,3% do custo total foram gastos com mão-

de-obra. Em relação ao gasto com insumos, os custos despendidos com mudas e seu transporte, moirões e arame, representaram os maiores gastos. Os autores ressaltam que, embora a metodologia empregada seja uma das mais baratas, é possível reduzir seus custos ainda mais. Isto pode ser alcançado se o fazendeiro produzir as mudas usadas, utilizar parte dos insumos produzidos na propriedade, como esterco, e não usar mão-de-obra contratada, podendo dessa forma, reduzir significativamente os custos do projeto. Assim, a adoção de estratégias de controle de erosão para a recuperação de áreas com voçorocas devem contemplar práticas mecânicas e vegetativas de baixo custo (Andrade et al 2005).

Ainda em Pinheiral (RJ), Machado (2007) quantificou uma taxa de perda de solo de 125,8 t ha⁻¹ em 1.145 m² considerando uma precipitação acumulada de 463 mm. As perdas de macronutrientes nos sedimentos coletados (Ca, Mg, P, K e N) foram da ordem de 1811 kg, com custo estimado em R\$ 2.190,00.

Martínez-Casasnovas et al. (2005) estudaram os efeitos econômicos *on-site* da erosão em vinhedos da Espanha. Os autores relacionaram o custo da erosão com os custos necessários para preenchimento de ravinas, redistribuição dos sedimentos e reparação de valas do sistema de drenagem, além de gastos com maquinário e trabalho. Constataram que o custo da erosão representou 5% da renda da fazenda com a venda de uvas e ressaltam que este custo é subestimado, pois outros custos indiretos da erosão (perda de nutrientes, outros danos a infra-estrutura do sistema de drenagem, perda de produtividade) foram desconsiderados.

O cálculo dos custos econômicos da erosão é importante para orientar políticas e programas de conservação do solo e alertar a sociedade e fazendeiros sobre sua gravidade. A mensuração de um prejuízo econômico-ambiental e sua expressão através de valores econômicos é melhor entendida por todos agentes sociais. Contudo, apesar da utilidade destes cálculos, devemos avaliá-los, muitas vezes, com certo ceticismo em relação aos seus valores estimados. Isto, para não gerar alarmismos e, muito menos, descaso e despreocupação. Ainda há carência de metodologias mais assertivas na mensuração destes custos, poucos profissionais capacitados para utilizá-las e escassez de dados para subsidiá-las. Há necessidade de mais pesquisa neste campo que é dividido entre a Ciência da Conservação do Solo e a Economia, assim, é preciso uma abordagem multidisciplinar no estudo da erosão em toda sua amplitude de impactos.

A Agência Nacional de Águas (ANA), órgão vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, desenvolveu o programa “Produtor de Água”. Este programa tem objetivo

aumentar à oferta e qualidade da água através do incentivo a adoção de práticas de manejo do solo que promovam a redução do processo de erosão-sedimentação. Este incentivo é feito por meio de compensação financeiro pelos serviços ambientais gerados pelo abatimento do processo erosivo, ou seja, remunerasse a redução da erosão. Deste modo incentiva-se a redução dos danos “*off-site*” do processo erosivo, que constitui-se em fonte difusa de poluição para os corpos d’água. Este programa faz com que o produtor rural passe da condição de poluidor, e migre para a condição de um provedor de serviços ambientais. Os valores financeiros e as taxas de redução da erosão são expostos no site a ANA: <http://www.ana.gov.br/produagua>.

Programas como esses são interessantes para a conservação do solo, pois trazem incentivos econômicos para aqueles que a promovem. Somente a coerção, por parte do estado e dos poderes constituídos, para aqueles que promovem a degradação e erosão do solo não traz alternativas práticas para a conservação/recuperação dos recursos naturais. Este fato condiz com o fracasso do Código Florestal Brasileiro no controle ao desmatamento, o que tem levado a pressões de vários setores da sociedade, principalmente o ruralista, que pleiteiam alterar a legislação ambiental para torná-la mais condescendente aos seus interesses.

3. MATERIAL E MÉTODOS

a) Caracterização da área em recuperação ambiental

O local de estudo é um lote de um assentamento de reforma agrária (P.A. Oziel Alves Pereira) localizado no município de Baliza – GO, com coordenadas 16^o30'36.38" S e 52^o22'33.15" W. A área total do assentamento é de 46.595,65 ha, constituído por Latossolos Vermelhos Escuros Álicos (21,48%); Latossolos Vermelho Amarelo Álico (32%); Neossolos Quartzarêmicos, (7,30%) Cambissolos (31,53%) Gley Húmico e Gley Pouco Húmico (7,46%) e Litólicos (0,23%). A altitude média local é de 577 m, em relevo local suave, clima do tipo Aw (Köppen), tropical chuvoso, com chuvas concentradas no verão, nos meses de outubro a abril, e período seco de maio a setembro com precipitação anual média de 1450 mm.

Os sulcos erosivos e as voçorocas são frequentes em toda região do assentamento. Na figura 8 é representado o relevo do local no qual há uma voçoroca instalada. A área é utilizada com pastagem formada por *Brachiaria brizantha* em consórcio com estilosantes mineirão (*Stylosanthes guianensis*), que se apresenta degradada e sem adoção de práticas de conservação do solo e com nível de manejo A (Ramalho Filho & Beek, 1995).

Os sulcos erosivos presentes neste pasto, originados nos caminhos de deslocamento do gado pela pastagem, formam depressões que propiciam a concentração de água do escoamento superficial ao longo da encosta.

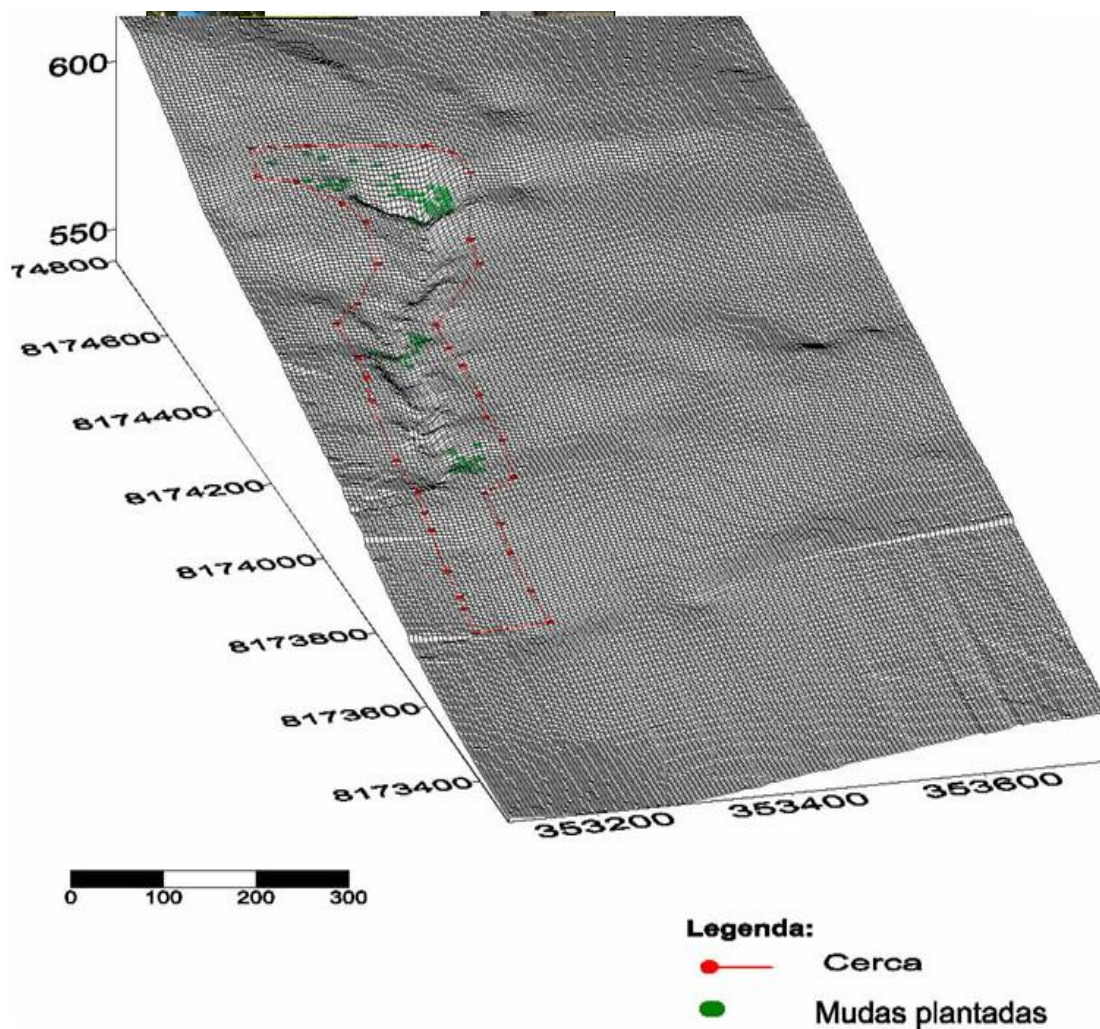


Figura 8. Representação da voçoroca.

b) Metodologia adotada para estabilização do processo erosivo

Com o objetivo de estabilizar o processo de voçorocamento na pastagem, no período de 2007 a 2009 foram realizadas diversas práticas de conservação do solo nessa área. A voçoroca foi isolada do restante da pastagem para evitar entrada do gado na área de intervenção por meio da construção de cercas com cinco fios de arame farpado. A base do madeiramento da cerca de eucalipto tratado foi concretada para aumentar sua resistência ao processo erosivo, já que o solo local é de textura arenosa, além de dificultar furtos. Na pastagem fora da área de isolamento foram construídos tanques de dessedentação de alvenaria para fornecer água ao gado que transitava neste local (Figura 9).



Figura 9. Práticas mecânicas para a recuperação da voçoroca. (1 - Instalação da cerca de isolamento; 2 - construção de tanques de dessedentação para o gado; 3 - retaludamento, colocação dos pneus e construção do dreno).

Foram construídas quatro bacias de contenção de água da chuva ao longo do canal da voçoroca para retenção de sedimentos, sendo os taludes suavizados para propiciar maior estabilidade e facilitar a revegetação. As bacias foram interligadas por drenos construídos com pedras envoltas com manta de bidim e ao longo do canal da voçoroca foram instalados tubos de acesso para viabilizar o monitoramento da água da enxurrada. O preenchimento da voçoroca foi feito com pneus sem serventia, pedras e terra dos próprios taludes da voçoroca. Os pneus foram assentados manualmente sob o dreno e depois soterrados, em dezembro de 2007 (Figura 2).

O plantio adensado de espécies estoloníferas na cabeceira da área isolada (2.000 mudas de citronela e 1.000 mudas de capim cidreira), gramíneas, leguminosas foi feito enquanto prática vegetativa recomendada. No entorno da voçoroca e dentro da área de isolamento, 5.800 mudas de espécies arbóreas frutíferas nativas, exóticas e eucalipto foram

plantadas visando à proteção do solo e propiciando uma “poupança” ao agricultor em troca da redução de sua área de pastagem. O plantio das mudas ocorreu após o término do preenchimento da voçoroca, em dezembro de 2007.

Como práticas edáficas, foram realizadas calagem e adubação de plantio e cobertura a lanço na área de isolamento e nas covas de plantio das espécies arbóreas. No período de Julho a Dezembro de 2008 foram realizadas algumas práticas edáficas de conservação do solo, realizadas manualmente, como a correção da acidez do solo com calcário dolomítico, a adubação de plantio/semeadura com adubos granulados e defensivos orgânicos e adubações de cobertura parceladas visando acelerar o estabelecimento da vegetação (Figura 10).



Figura 10. Práticas edáficas e vegetativas para conservação do solo.

No período de 2010 a 2011, os custos associados à estabilização da voçoroca foram organizados para avaliar a metodologia usada, considerando o valor deste passivo ambiental o custo de sua recuperação.

c) Descrição morfológica do solo e da coleta de amostras de solo

Para fins de classificação do solo foi realizada a descrição morfológica de um perfil, com a coleta de amostras e sondagens do solo para determinar se haviam variações do solo na área estudada. A descrição morfológica do perfil foi realizada no talude da voçoroca, raspando uma porção de 1m de solo em direção de seu interior, para evitar descrever e coletar um pédon que tivesse sido alterado pela exposição à insolação e à oxidação. A descrição morfológica em campo, com a delimitação e identificação dos

horizontes, determinação de cor, textura, estrutura e consistência seguiu metodologia descrita por Santos et al. (2005).

No perfil descrito foi realizada coleta de amostras de solo com estrutura deformada e indeformada para todos os horizontes identificados. As amostras deformadas destinaram-se à determinação de textura, fertilidade, densidade de partícula, ataque sulfúrico para determinar os índices K_i e K_r e para análise mineralógica do solo. As amostras indeformadas foram coletadas através de monólitos, para análise de estabilidade de agregados via peneiramento úmido, e de anéis volumétricos, utilizados na determinação da densidade do solo, volume de poros total, macro e microporosidade, cálculo de água disponível no solo e condutividade hidráulica saturada.

Com base na descrição morfológica e nos resultados analíticos procedeu-se a classificação taxonômica deste solo de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Embrapa, 2006), bem como sua classificação no Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola da Terra (Ramalho Filho & Beek, 1995), de acordo com os seguintes fatores limitantes: deficiência de fertilidade, susceptibilidade à erosão, deficiência de água, deficiência de oxigênio (excesso de água) e impedimentos à mecanização.

d) Determinações analíticas

As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. As análises granulométricas foram realizadas pelo método do densímetro de Bouyoucos, descrito em Embrapa (1997), utilizando como dispersante o NaOH e a água, para determinar a argila natural e o grau de flocculação, calculado utilizando-se a seguinte fórmula: $GF = \left(\frac{AT-AN}{AT}\right) * 100$; AT = argila total (dispersa em NaOH), AN = argila natural (dispersa em água).

O solo foi separado nas frações areia muito grossa (2-1mm), areia grossa (1-0,5mm), areia média (0,5-0,25mm), areia fina (0,25-0,1mm), areia muito fina (0,1-0,05mm), silte (0,05-0,002mm) e argila (>0,002mm), sendo que a fração areia foi separada por tamisação manual a seco. A densidade de partículas foi obtida pelo método do balão volumétrico, usando álcool etílico para aferir o volume das partículas (Embrapa, 1997).

Para determinação de percentagem de agregados e cálculo de DMP (diâmetro médio ponderado) e DMG (diâmetro médio geométrico), os monólitos foram cuidadosamente destorroados, peneirados em peneira de 4mm e 2mm, sendo que os

agregados que foram retidos nesta última peneira foram usados para a análise. Para o peneiramento úmido, utilizou-se o aparelho de oscilação Yoder, com peneiras de diâmetros de 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,103 mm de abertura. As amostras de dez gramas de solo foram umedecidas por 10 mm, e oscilaram no aparelho (38 rpm) por 15 minutos. O material retido em cada peneira foi levado à estufa, seco e pesado, e calculando-se a porcentagem de agregados por classe de diâmetro, o DMP e DMG, com as fórmulas:

$$DMP = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad ; \quad DMG = \exp[(\sum w_i \log w_i) / (\sum w_i)],$$

sendo x_i o diâmetro médio de qualquer faixa de tamanho de agregados separados pelo peneiramento e w_i é o peso dos agregados naquela faixa de tamanho como uma fração do peso seco total da amostra analisada.

Para a determinação da densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade e umidade volumétrica do solo em capacidade de campo (CC), os anéis volumétricos foram colocados na mesa de tensão e submetidos à tensão de 60 cm (ou 0,06 kPa). Para a obtenção umidade volumétrica correspondente ao ponto de murcha permanente (PMP), estes anéis foram submetidos à tensão de 1515 kPa na câmara de pressão de Richards.

Ainda utilizando os anéis volumétricos, foi realizado um ensaio para a obtenção da condutividade hidráulica saturada para cada horizonte do solo, adaptando-se um permeâmetro de carga constante para cada anel, com um anel de diâmetro e altura semelhantes ao anel que contém a amostra de solo, encaixado e vedado a este último.

A análise de fertilidade do solo, bem como a obtenção das relações moleculares K_i , K_r e Al_2O_3/Fe_2O_3 seguiram metodologia preconizadas por Embrapa (1997).

A determinação da erodibilidade (K), usada para determinar a suscetibilidade do solo à erosão, foi realizada para cada horizonte do perfil de solo, utilizando o modelo proposto por Wischmeier et al. (1971):

$$K = \{[2,1 (10^{-4})(1,2-MO)M^{1,14} + 3,25(EST-2) + 2,5(PER-3)]/100\}0,1317$$

Onde: K = erodibilidade do solo, $Mg h MJ^{-1} mm^{-1}$; M = soma da % de silte e areia muito fina, multiplicada por 100 menos a % de argila; MO = % de matéria orgânica; EST = códigos correspondentes a estrutura (1=muito pequena granular, 2 = pequena granular, 3 =

média a grande granular e 4 = blocos, laminar ou maciça); **PER** = códigos correspondentes à permeabilidade do solo (1 = rápida, 2 = moderada a rápida, 3 = moderada, 4 = moderada a lenta e 5 = lenta).

e) Análise da água presente na voçoroca

Pelo fato dos pneus usados na intervenção apresentarem metais em sua estrutura interna, foram realizadas coletas de amostras de água presente na voçoroca, para o monitoramento de sua qualidade e determinação dos teores dos metais pesados: chumbo (Pb), cádmio (Cd), cromo (Cr) e níquel (Ni), determinados por absorção atômica. Coletaram-se dez amostras de água para cada época amostrada, que foram: julho de 2010 (período de seca) e em dezembro de 2010 (período chuvoso).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA

Ao Adotar o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS), este solo foi classificado, no quarto nível categórico (subgrupo) como sendo NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico. Os NEOSSOLOS são solos jovens, cujo o radical grego *neo*, que significa novo, confere conotação de solo jovem, em vias de formação devido a pouca ação dos processos pedogenéticos ou pelas características inerentes ao material originário.

Segundo o SiBCS esta classe de solo tem como critério para a sua distinção a ausência de horizontes diagnósticos de subsuperfície, exígua diferenciação dos horizontes, com horizonte A seguido de C ou R e com predomínio de características herdadas do material originário, que no caso deste solo é o produto do intemperismo de arenito feldspático micáceo da Formação Furnas. A ausência de horizonte diagnóstico de subsuperfície (Figura 11) foi corroborada pelo exame morfológico do perfil do solo, conforme tabelas 4 e 5. Em subsuperfície não houve grande diferenciação de atributos pedogenéticos como, cor, textura e estrutura, que indicariam a existência de horizonte B.

A falta de um horizonte diagnóstico de subsuperfície indica a grande resistência do material de origem em passar pelo processo de decomposição. Portanto, ocorre uma preponderância da fração areia em detrimento das outras frações granulométricas.

O solo estudado teve seus horizontes classificados nas classes texturais franco-arenosa, para os horizontes A e AC, e franco-argilo-arenosa, para o horizonte C (Tabela 6). Deste modo, estas classes texturais estão inseridas no grupamento textural médio (Embrapa, 2006; Santos et al., 2005).

Tabela 4. Descrição Geral da área de estudo.

Características do local (data da descrição – 01/07/2010)	
CLASSIFICAÇÃO	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico
SiBCS:	
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:	Projeto de Assentamento Oziel Alves Pereira, município de Baliza – GO. Coordenadas: S – 16°30.554'; W – 52°22.511'
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:	Situado em meia encosta, com 3 a 6% de declive, cobertura vegetal composta de gramíneas e árvores nativas.
ALTITUDE:	578 m
LITOLOGIA:	Arenito da Formação Furnas
MATERIAL ORIGINÁRIO:	Produto do intemperismo do arenito supracitado
PEDREGOSIDADE:	Não pedregoso
ROCHOSIDADE:	Não rochoso
RELEVO LOCAL:	Suave ondulado
RELEVO REGIONAL:	Suave ondulado
EROSÃO:	Sulcos frequentes, rasos e presença de voçoroca
DRENAGEM:	Excessivamente drenado
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:	Cerrado
USO ATUAL:	Pastagem
DESCRITO E COLETADO:	Ronaldo de Oliveira Custódio Filho e Felipe Correa Veloso dos Santos

Tabela 5. Descrição morfológica do perfil descrito.

Horizonte	Descrição
A	0 – 30 cm, bruno - avermelhado escuro (5YR 3/2, úmido), cinzento - avermelhado escuro (5YR 4/2, seco); areia; fraca, pequena, grão simples; macia, muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
AC	30 – 50/57 cm, bruno - amarelado (10YR 5/4, úmido), bruno - amarelado claro (10YR 6/4, seco); areia; fraca, pequena, grão simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
C	50/57 + cm, bruno - amarelado (10YR 5/8, úmido), amarelo - brunado (10YR 6/6, seco); areia; fraca, pequena, grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e gradual.

RAÍZES: abundantes no horizonte A, sendo do tipo fasciculadas pertencentes a pastagem; abaixo do horizonte A, ocorrência pouco frequente de raízes pivotantes, pertencentes a espécies arbóreas.

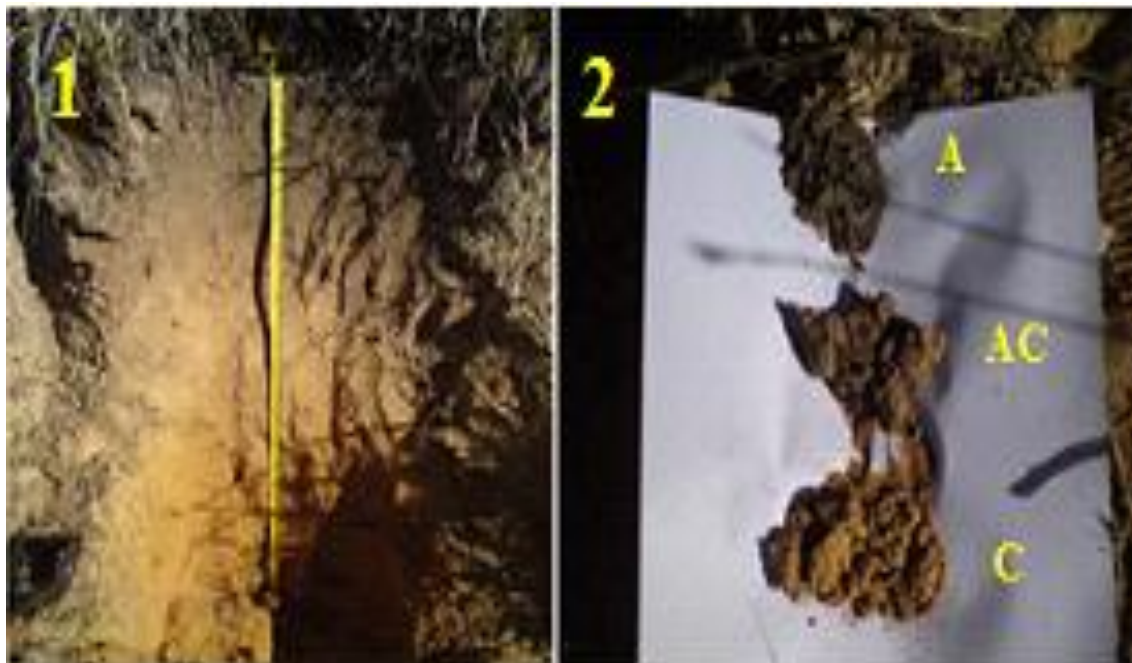


Figura 11. Perfil de solo descrito no talude da voçoroca (a) e amostras de solo coletadas nos horizontes A, AC e C (b).

O valor típico da DS de solos arenosos é de $1,6 \text{ kg dm}^{-3}$. Contudo, os valores de DS dos horizontes do solo são menores que o valor encontrado na literatura, o que pode indicar maior porosidade deste solo. De acordo com FAO (2006), que preconiza como alta porosidade valores de porcentagem de poros acima de 40%, este solo apresentou alta porosidade em todos horizontes.

Tabela 6. Valores médios de características físicas do solo.

Horizonte	Argila	Silte	Areia	AMG	AG	AM	AF	AMF	Dp	DS	VTP
				g kg ⁻¹					g cm ⁻³		%
A	160,00	60,00	780,00	5,33	20,66	251,05	447,70	55,27	2,61	1,47	43,59
AC	195,00	60,00	745,00	7,50	24,71	230,26	437,15	45,38	2,60	1,46	44,08
C	210,00	65,00	725,00	10,60	20,84	199,62	423,63	70,31	2,59	1,48	42,86

AMG = areia muito grossa; AG = areia grossa; AM = areia média; AF = areia fina; AMF = areia muito fina; Dp = densidade de partículas; DS = densidade do solo; VTP = volume total de poros.

A textura além de ser uma característica estável do solo, influencia o comportamento físico do solo e sua fertilidade. Segundo Freire (2006), os solos arenosos, que contêm mais de 70% de areia, são soltos, friáveis, não apresentam plasticidade, nem pegajosidade. Retêm pouca água, apresentam boa permeabilidade e aeração. A fertilidade destes solos é, no entanto, baixa.

Ressalta-se que a avaliação textural em campo indicou uma textura areia, devido à sensação tátil de aspereza, atrito e ínfima plasticidade e pegajosidade deste solo, mas na análise mecânica, apresentou maior proporção de argila do que o esperado. Tais discrepâncias podem surgir não apenas pela natureza subjetiva do exame de campo, mas também pela ação dos minerais de argila, cátions trocáveis, matéria orgânica e agentes cimentantes que influenciam a estimativa da textura em campo pelo método do tato (Marshall et al., 1999). As descrições da textura em campo refletem o comportamento do solo. A sensação que o solo oferece ao tato é uma característica inerente ao solo e serve como critério para diferenciá-lo em campo, assim a classe textural estimada na descrição morfológica não deve ser corrigida com base na análise mecânica (Schneider et al., 2007).

Na análise mecânica com dispersante, houve incremento de argila em profundidade, sendo o horizonte C o que apresentou maior quantidade desta fração textural. O teor de areia seguiu tendência oposta ao da argila, com decréscimo em profundidade. A relação textural deste solo foi baixa sendo, por exemplo, a relação AC/A, para argila, equivalente a 1,22, o que indica a não existência de gradiente textural abrupto.

Para a análise mecânica em água, ocorreu uma redução do teor de argila e de areia em profundidade, e um aumento da fração silte com o aumento da profundidade (Tabela 7). Este fato evidencia a importância da dispersão química (adição de hidróxido de sódio) na determinação de quantidades mais exatas de cada fração textural de um solo. Quando não houve adição de hidróxido de sódio na análise mecânica, a argila comportou-se como silte, pois não foi devidamente desfloculada.

Tabela 7. Valores médios de argila total (AT), natural (AN) e grau de floculação do solo (GF).

Horizonte	Textura com dispersante (g kg ⁻¹)			Textura em água (g kg ⁻¹)			GF (%)
	AT	Silte	Areia	AN	Silte	Areia	
A	160	60	780	70	55	875	56,25
AC	195	60	745	50	80	870	74,36
C	210	65	725	35	130	835	83,33

A argila natural, com dispersão em água, representa a porção da argila total que é naturalmente dispersa na presença de água. Assim, pode ser utilizada para indicar: i) erodibilidade, pois está relacionada com a estabilidade de agregados estáveis em água, ii) a

atividade da fração argila, admitindo-se que quanto mais ativa for à fração argila, maior será a adsorção de água e, portanto, de argila dispersa em água (Ferreira, 2010).

Analisando os teores de argila natural desse solo, percebe-se sua diminuição em profundidade e um aumento do grau de floculação em profundidade. Isto significa que a redução da dispersão da argila em profundidade pode ter impacto positivo na estabilidade de agregados em subsuperfície, bem como, redução na atividade desta fração em profundidade. Ferreira (2010), ainda salienta que num dado perfil de solo, os horizontes superficiais apresentam teores mais elevados de argila natural quando comparados com os horizontes subsuperficiais. No entanto, contradizendo essa afirmação, a redução da dispersão da argila em profundidade não teve impacto positivo na estabilidade de agregados em subsuperfície no presente estudo, no qual foi verificada uma redução dos tamanhos dos agregados em subsuperfície (Tabela 8), o que indica que os agregados de superfície se mostraram mais estáveis em relação aos de subsuperfície, com decréscimo na porcentagem de agregados estáveis em água com o aumento da profundidade. Esta tendência pode ter impacto negativo em casos da ocorrência de processos erosivos lineares tais como ravinas e voçorocas, pois tais feições erosivas ao atingirem os horizontes de subsuperfície irão progredir mais rapidamente, potencializando o processo erosivo.

Tabela 8. Valores médios da porcentagem de agregados estáveis por classe de diâmetro.

Profundidade (cm)	Horizonte	% agregados					DMG	DMP
		4 - 2	2 - 1	1 - 0.5	0.5 - 0.25	0.25 - 0.1		
		mm						
0 - 30	A	86,48	5,65	0,95	2,50	2,10	2,54	2,70
30 - 57	AC	79,77	7,42	2,12	4,57	3,67	2,26	2,54
57 - 100+	C	77,12	3,98	2,18	6,86	7,29	2,02	2,43

DMG = Diâmetro médio geométrico, DMP = Diâmetro médio ponderado.

Os valores do índice Ki deste RQo variaram de 0,96 (horizonte AC) a 1,02 (horizontes A e C), apresentando um valor médio igual a 1,00 e refletindo o alto teor de silício em sua composição (Tabela 9). Este fato evidencia a origem deste solo, derivado do produto de intemperismo de Arenito (Formação Furnas) rico em quartzo, mineral rico em silício e que apresenta alta resistência ao intemperismo químico, ou seja, é difícil a decomposição de sua estrutura mineral. Por isso há uma grande participação do SiO₂ neste solo, tornando sua relação Ki baixa.

Ressalta-se que o SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos) utiliza o índice Ki como um atributo característico do horizonte diagnóstico subsuperficial B

Latossólico. De acordo com o sistema o horizonte B Latossólico deve ter relação molecular Ki igual ou inferior a 2,2, sendo normalmente menor que 2,0.

Tabela 9. Valores médios de óxidos de silício (SiO_2), ferro (Fe_2O_3) e alumínio (Al_2O_3).

Horizontes	A	AC	C
Atributo	%		
SiO_2	3,6	4	4,8
Fe_2O_3	0,6	0,64	0,7
Al_2O_3	6	7,1	8
TiO_2	0,14	0,2	0,21
Ki	1,02	0,96	1,02
Kr	0,96	0,91	0,97
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	15,96	17,4	17,93

Neste estudo, os índices Ki encontrados são inferiores aos valores preconizados pelo SiBCS (Embrapa, 2006) para a classificação dos Latossolos. Contudo, a interpretação de baixos valores para índice Ki dos RQo's não deve denotar alto grau de intemperização, como ocorre para a interpretação de índices Ki inferiores a 2,0 para os Latossolos. Os reduzidos valores de Ki para este RQo indicam relevante presença de Si neste solo, fato este que ocorre não pelo alto grau de intemperismo, mas sim, pelo grande teor de Si que este RQo herda de seu material de origem e por seu alto grau de resistência a decomposição. O índice Ki, que para os Latossolos indicam maturidade ou senilidade, para os Neossolos Quartzarênicos, solos jovens, não.

A relação Kr, por envolver os teores dos óxidos de Si, Fe e Al, é indicativa de solos caulíníticos ($\text{Kr} > 0,75$) e de solos oxídicos ($\text{Kr} < 0,75$) (Embrapa, 2006; IBGE, 2007). Adotando-se estes valores de Kr, classificaríamos este Neossolo como um solo caulínítico. Contudo, é necessário considerar a origem deste solo, que é rico em quartzo, um material de difícil intemperismo, antes concluir sobre sua mineralogia. Deste modo, este índice é inconclusivo na determinação da mineralogia deste solo. Portanto, este índice Kr, assim como o índice Ki, nos mostra a prevalência do Si neste solo.

A relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ é considerada alta para valores maiores que 3,15, expressando a pequena presença de ferro no solo (IBGE, 2007). Considerando os valores da relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ para o solo em estudo, houveram elevados valores desta relação para todos os horizontes, demonstrando a prevalência do óxido de Al sobre o óxido de Fe para este solo.

4.2. CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA

4.2.1 Tipo de Uso e Nível de manejo adotado na Terra

O tipo de uso da terra neste lote é com pastagem plantada, que está sob sistema de manejo extensivo, sem qualquer forma de rotação de pastejo, nenhum tipo de adubação ou reforma, constituindo, assim, um tipo de exploração do solo quase que extrativista, em que os nutrientes são exportados via pastejo e não são repostos pela adubação. Ainda, agravando este cenário, o pastejo excessivo, provocado pela falta de manejo do gado, cria condições para a compactação e erosão do solo. Deste modo, percebe-se que o nível de manejo adotado neste lote de reforma agrária é o nível A, considerado primitivo e caracterizado pelo reduzido nível tecnológico usado nas práticas de cultivo e conservação do solo.

Ao nível de manejo A não há nenhum tipo de melhoria do solo compatível com esta condição tecnológica: o solo é usado conforme suas condições naturais, sem nenhuma alteração ou melhoria, o que é preocupante quando solos de baixa fertilidade natural e de alta erodibilidade são manejados. Espera-se, portanto, neste cenário, uma reduzida produção, produtividade e alta taxa de erosão do solo.

Cabe ainda salientar, que o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola da Terra relaciona o uso pastagem plantada, que é o uso atual deste lote, com o nível de manejo B (pouco desenvolvido). O nível de manejo B caracteriza-se por apresentar nível tecnológico intermediário e que faz uso de tais práticas: calagem, adubação com NPK e alguma prática mecanizada. Portanto, o nível atual de manejo sob o qual o solo está sendo usado está aquém da necessidade de seu uso. Para este tipo específico de uso (pastagem plantada) seria necessário elevar o nível tecnológico e capital despendido no manejo deste solo.

4.2.2. Condição Agrícola da Terra

4.2.2.1. Deficiência de Fertilidade:

De acordo com os resultados analíticos, esse solo pode ser classificado como distrófico, com saturação por bases (V) inferior a 50%, ou ainda, subtrófico ($V < 35\%$) e mesoálico, com teor de Al $> 0,4 \text{ cmolc/dm}^3$ e saturação por alumínio (m) superior a 50% (Tabela 10). A classe de reação do solo é extremamente ácida, com pH inferior a 4,3 (EMBRAPA, 2006; Prado, 2008). A reação ácida deste solo é caracterizada pelo pH e V

reduzidos e m elevado. O V varia inversamente com o pH e os íons H^+ e Al^{3+} são responsáveis pela acidez pois substituem as bases K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} do complexo de troca do solo.

O pH, V e m do solo mais adequados para a maioria das culturas está entre 5,5 e 6,5, entre 40 a 70 e de 10 a 20, respectivamente (Malavolta, 2006). Percebe-se, portanto que esse solo apresenta valores bem inferiores aos preconizados pela literatura, com valores médios para os parâmetros pH, V e m de 4,03, 10,69% e 58,89%, respectivamente. Deste modo, este solo enquadra-se no grau de limitação forte para a condição agrícola deficiência de fertilidade.

Tabela 10. Valores médios de fertilidade do solo.

Horizonte	MO %	pH (CaCl ₂)	P(Mehl) mg/dm ³	K	Ca	Mg	H+Al cmolc/dm ³	Al	CTC	M %	V
A	1,40	4,00	0,30	39,50	0,30	0,10	5,90	0,85	6,4	62,85	7,8
AC	0,65	4,00	0,30	35,50	0,30	0,10	4,55	0,70	5,05	58,8	9,75
C	0,50	4,05	0,30	34,00	0,30	0,10	3,30	0,60	3,8	55,2	12,9

4.2.2.2. Susceptibilidade à Erosão:

A erosão do solo é função da erosividade das chuvas, erodibilidade do solo, do relevo e da cobertura vegetal. A erodibilidade média do perfil do solo apresentou-se, em geral, baixa (Tabelas 11 e 12). Associando os valores médios de erodibilidade, com o relevo local, pode-se classificar este solo, como tendo grau Ligeiro de suscetibilidade a erosão. Contudo, ressalta-se a condição local de pastagem degradada (Figura 12), com reduzida cobertura vegetal do solo, associada a uma topografia caracterizada por rampas longas e planas que propiciam o aumento de volume e velocidade de escoamento superficial, o que potencializam a erosão do solo. Portanto, o valor de erodibilidade de um solo não é absoluto e muito menos constante ao longo do tempo para prever sua suscetibilidade à erosão. O manejo e uso do solo, assim, são parâmetros fundamentais na determinação do quanto um solo é suscetível em ser erodido.

Adotando-se somente os parâmetros erodibilidade e relevo na determinação do grau de suscetibilidade a erosão, esse solo apresenta grau de limitação Ligeiro para este fator agrícola. Contudo, considerando, também, que este solo está sob uma pastagem degradada, que propicia reduzida proteção contra a chuva e enxurrada, o grau de limitação deste solo passa a ser Forte para a suscetibilidade a erosão.



Figura 12. Pastagem degradada com presença de sulcos erosivos.

Tabela 11. Erodibilidade do solo (estimado pelo modelo de Wischmeier et al., 1971).

Horizonte	Erodibilidade (Mg h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
A	0,0018
AC	0,0024
C	0,0060

Tabela 12. Valor da erodibilidade para cada grau de limitação (Adaptado de Giboshi (1999) *apud* Pereira & Lombardi Neto, 2004).

Grau de limitação	Erodibilidade (Mg h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Nulo	<0,01
Ligeiro	0,01 a 0,02
Moderado	0,02 a 0,03
Forte	0,03 a 0,04
Muito Forte	>0,04

4.2.2.3. Deficiência de Água:

O volume de água que o solo consegue reter depende de suas propriedades edáficas, como: textura, porosidade, teor de matéria orgânica. Assim, a preponderância de fração areia, grande volume de macroporos e reduzido teor de matéria orgânica, condicionam uma limitada capacidade de retenção de água no solo, refletida pela reduzida quantidade de água disponível para as plantas, sendo essa quantidade determinada pela diferença no teor de água no solo compreendida entre a umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) (Tabela 13). Relacionando as características físicas deste solo com o clima no qual está inserido, com duas estações distintas de verão chuvoso e inverno seco, obteve-se grau de limitação moderado para deficiência de água.

Tabela 13. Umidade volumétrica e água disponível para cada horizonte do solo. CC = capacidade de campo, PMP = ponto de murcha permanente e AD = água disponível.

Profundidade (cm)	Horizonte	Umidade volumétrica (cm ³ cm ⁻³)			Água disponível (mm)		AD (mm)
		Saturado	CC	PMP	CC	PMP	
0 - 30	A	0,39	0,25	0,11	7,65	3,30	4,35
30 - 57	AC	0,39	0,23	0,08	6,20	2,17	4,03
57 - 100+	C	0,41	0,24	0,07	5,93	1,86	4,06

4.2.2.4. Excesso de Água (Deficiência de Oxigênio):

A posição deste solo no relevo local é na meia encosta, ou seja, afastado de cursos d'água, o que restringe a ocorrência de enchentes, pois trata-se de um NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico, classe de solo que não se forma por processos aluviais e hidromórficos. Caso este solo fosse influenciado por tais processos, este NEOSSOLO seria classificado, em segundo nível categórico, como FLÚVICO. Este solo foi classificado como excessivamente drenado, com valores de condutividade hidráulica saturada rápida em todos os horizontes de seu perfil (Tabela 14). Deste modo, o grau de limitação para excesso de água para este solo é Nulo.

Tabela 14. Valores de condutividade hidráulica saturada (Ko).

Horizonte	Ko (cm h ⁻¹)	Classificação (Forsythe, 1975)	
		Classes	Ko (cm h ⁻¹)
A	22,44	Lenta	<0,13 a 0,5
		Moderadamente Lenta	0,5 - 2
AC	23,77	Moderada	2 – 6,3
		Moderadamente Rápida	6,3 – 12,7
		Rápida	12,7 – 25,4
C	16,09	Muito rápida	>25,4

4.2.2.5. Impedimentos à Mecanização:

Este fator agrícola é mais relevante no nível de manejo C, que se baseia em sistemas mecanizados, do que para os demais níveis de manejo. A ausência de calhaus e matacões tanto em superfície como em subsuperfície, bem como a não ocorrência de afloramentos rochosos e de matacões, caracterizam este solo como não pedregoso e não rochoso. Além da ausência de pedregosidade/rochosidade deste solo, seu relevo suave, com longas rampas, favorece a mecanização, bem como a sua profundidade, classificada como muito profundo, com contato lítico ou lítico fragmentário abaixo de 2m. Por ser um solo de textura mais arenosa, boa drenagem e ausência de condições hidromórficas favorecem a mecanização. Assim, este solo apresenta grau de limitação Ligeiro para o impedimento a mecanização. Contudo, a ocorrência de ravinas e voçorocas pode influenciar negativamente a mecanização do solo.

4.2.3 Viabilidade de Melhorias da Condição Agrícola da Terra

O solo do presente estudo passou por um processo de recuperação/estabilização de uma voçoroca utilizando técnicas vegetativas, edáficas e mecânicas de conservação do solo. A degradação foi deflagrada pela falta de práticas de conservação do solo. A recuperação deste passivo ambiental caracterizou-se como um tipo de intervenção na terra de nível tecnológico e de aporte de capital muito além da capacidade dos assentados dessa área. Demonstra-se, assim, que estes assentados não conseguiriam recuperar este passivo ambiental com o nível de manejo que adotam e que este mesmo manejo está levando ao depauperamento do solo e sua consequente degradação. Se não houvesse intervenção do poder público na recuperação deste passivo, o processo erosivo iria se agravar.

A viabilidade de melhoramento da terra está condicionada aos níveis de manejos B e C. O nível atual de manejo (nível A) sob o qual a terra é explorada, não vislumbra qualquer possibilidade de melhoria no manejo e conservação deste solo. Deste modo, para esse que solo seja explorado de maneira sustentável é necessário maior aporte de tecnologia e capital, ou seja, que o manejo deste solo migre do nível A para, no mínimo, o nível B.

Dentre os fatores agrícolas que mais impactaram a condição agrícola da terra estão: deficiência de fertilidade e deficiência de água. Considerando a fertilidade, no atual nível de manejo do solo, não há possibilidade de melhoria deste fator. Então o agricultor depende da fertilidade natural do solo, que neste caso é reduzida e necessita a melhoria deste fator agrícola.

Adotando a classe 1 (Ramalho Filho & Beek, 1995) de melhoramento, que se relaciona com o nível de manejo B, poderiam ser adotadas as seguintes técnicas para contornar a deficiência de fertilidade deste solo: calagem e gessagem para reduzir acidez em superfície, subsuperfície e m, bem como elevar CTC e V; adubação verde, orgânica (uso de esterco) para elevar matéria orgânica; adubação de manutenção com adubos formulados; rotação de culturas, com integração lavoura-pecuária, adoção de sistemas agroflorestais e sistemas de rotação de pastejo.

Para melhoria da deficiência de água, desconsiderando as práticas de irrigação que não estão no escopo do Sistema de Aptidão Agrícola, indicam-se práticas que preconizam aporte de matéria orgânica no solo, bem como que propiciem sua cobertura e que retenham a água, como: plantio em nível, cordões de vegetação permanente, adição de matéria orgânica, coberturas mortas e plantio direto. O uso de terraço em nível como mecanismo de conservação de água constitui-se numa prática do nível de manejo C, portanto, acima da capacidade de tecnologia, investimento e manutenção desses assentados.

Mesmo que o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola tenha indicado reduzida suscetibilidade à erosão por parte deste solo, são necessários cuidados para que este não seja erodido. Os RQo, por serem solos de alto conteúdo de areia, possuem baixa agregação (Tabela 8) o que os predispõem a erosão. Somando-se a este fato, o relevo local é constituído por relevo plano, com longas rampas o que potencializa a velocidade do escoamento superficial e, como o solo está sob pastagem degradada, com sulcos frequentes e reduzida cobertura vegetal, o risco de erosão é aumentado. Assim, além das práticas de

conservação supracitadas, pode-se lançar mão das seguintes práticas para reduzir ou controlar a erosão: preparo reduzido do solo, cultivo em faixa, cultivo em contorno, faixas de vegetação permanente, pastoreio controlado (piquetes, saleiros e aguadas em nível).

4.2.4 Classe de Aptidão Agrícola

O solo enquadrou-se no subgrupo 4p (Tabela 15), que se caracteriza como terras com aptidão regular para pastagens plantadas. Contudo, caso a forma com a qual o solo tem sido manejado perdure, o processo de degradação e erosão deste solo continuará. Deste modo, este solo poderá ter sua classificação alterada para uma classe com uso mais restrito, pois com o aumento da degradação, aumentarão, também, as restrições de uso, podendo este solo ser reclassificado para a classe restrita para a pastagem plantada (4(p)), ou ainda tornar-se inapto ao uso agrícola.

Tabela 15. Classe de Aptidão Agrícola do solo.

Grupo	Subgrupo	Classe	Deficiência da fertilidade	Deficiência de água	Excesso de água	Suscetibilidade à erosão	Impedimento à mecanização	Uso indicado
4	4p	Regular	Forte	Moderada	Nulo	Forte	Ligeiro	Pastagem plantada

Assim como a classificação deste solo pode sofrer mudanças advindas do aumento de sua degradação, também, a classificação do solo poderá ser alterada caso o solo passe por manejo e aporte de tecnologia e capital que possibilite a melhora de suas condições edáficas. Assim, com a diminuição de suas restrições, este solo pode ter classificação alterada para classe de aptidão boa para pastagem plantada (4P), ou ainda para classe de aptidão restrita (3(abc)) para lavouras para os três níveis de manejo considerados pelo Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola.

5. POLUIÇÃO POR METAL PESADO

Os resultados das análises dos teores de metal pesado em água são apresentados na Tabela 16. O que chamou a atenção nesta amostragem foi que no período da seca a voçoroca continha água desde seu terço médio até o seu fim. Contudo, no período das chuvas, quando esperava-se encontrar mais água ainda e temia-se pelo extravazamento

da voçoroca, esta apresentava apenas um pouco de água contida em um lamaçal em sua última bacia.

Os teores dos metais pesados não apresentaram valores superiores ao preconizado pela Resolução 357 do CONAMA (Brasil, 2005) variaram pouco entre as épocas amostradas. Contudo, é necessário o contínuo monitoramento destes metais já que com o passar do tempo ocorrerá à degradação dos pneus com consequente liberação de metais ao ambiente.

Tabela 16. Teores médios de metais pesados na água da voçoroca.

Período	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Ni (ppm)
Seco (06/2010)	0.01	0.01	0.02	0.01
Chuvoso (12/2010)	0.01	0.01	0.01	0.02
Valor limite*	0.03	0.01	0.05	0.025

* Resolução 357/CONAMA (17/03/2005)

Oliveira et al. (2010) analisaram o comportamento, transporte e retenção, do Cádmio (Cd) em algumas classes de solos, dentre estas o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (RQ), no Estado de Goiás. Para a realização do experimento utilizaram-se amostras dos horizontes subsuperficiais dos solos. Os autores constataram que o RQ possui menor capacidade de retenção do Cd. Este fato associado à rápida movimentação de água nesta classe de solo, oferece um risco maior de contaminação das águas subterrâneas. A baixa retenção do Cd nesta classe de solo está associada ao baixo teor de argila, responsável pelos sítios de troca (baixa CTC) e pelo tipo de argilomineral encontrado (predomínio de óxidos) (Oliveira et al., 2010).

Em experimento de sorção competitiva de metais pesados em diferentes classes de solos, Oliveira et al. (2010 b) avaliaram a sorção competitiva de metais pesados e verificaram que o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO foi a classe de solo que apresentou menor retenção de metais em comparação com as demais classes de solo sendo, portanto, mais vulnerável à contaminação de águas subterrâneas. A sequência da retenção dos metais pesados, constatada por Oliveira et al. (2010 b), em ordem decrescente, para o RQo foi: $Cr^{+6} > Cr^{+3} > Cu^{+2} > Pb^{+2} > Ni^{+2} > Zn^{+2} > Cd^{+2}$.

Para Costa et al. (2008), corroborando com Oliveira et al. (2010 a, 2010 b), os Neossolos, devido à sua constituição pobre em argilas e matéria orgânica, apresentam

menor capacidade de manter os metais retidos quando comparado com o Latossolo. Isso significa maior concentração dos metais na solução do solo e, conseqüentemente, maior fitodisponibilidade dos metais pesados neste solo.

6. CUSTEIO DA RECUPERAÇÃO DA VOÇOROCA

O método adotado para intervenção do processo erosivo foi o uso de pneus inservíveis como material de preenchimento, com base no trabalho de Sparovek (2001), constitui-se numa solução integrada para os problemas ambientais: erosão, descarte inadequado de pneus inservíveis e disseminação do mosquito *Aedes aegypti* (vetor da dengue), pois os pneus não ficam expostos a chuva, nem permanecem armazenados em locais inapropriados e não são queimados.

Contudo, cabe salientar a promulgação da Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, para atuar na redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e na sua disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010). O artigo 33 desta Lei, explicita a responsabilidade compartilhada dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus, em estruturar e implementar sistemas de logística reversa, para viabilizar o retorno destes produtos após o seu uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos. Espera-se, assim, que com a implementação desta política de resíduos sólidos, não se use mais pneus na contenção de erosões e que muito menos sejam descartados de modo irresponsável.

O custo total despendido com os diversos trabalhos realizados para a estabilização da voçoroca com 550 metros de comprimento, 3 m de profundidade e 6 m de largura média, foi de R\$ 147.744,45 (Tabela 17).

O custo de reparação de um passivo ambiental é um método simples e seguro de avaliação de dano ambiental, que se baseia na avaliação do dano por meio de seu custo de reparação. Portanto, a avaliação de uma voçoroca (passivo ambiental) pode ser realizada com base nos custos de sua recuperação. Como os danos representam um passivo ambiental, o valor deste passivo pode ser descontado do valor total do imóvel que apresenta este problema. Contudo, a voçoroca representa, também, danos indiretos à um imóvel, como: limitação de uso econômico e perda de renda da área afetada, perda da

possibilidade de uso nas áreas adjacentes, aspecto ambiental depreciativo, necessidade de vigilância constante, depreciação do imóvel, possíveis indenizações à terceiros, penalidades previstas em lei (Carvalho, 2008).

Tabela 17. Custos de estabilização da voçoroca.

Especificação	Total (R\$)	%
Mão-de-obra	40.850	27,65
Práticas mecânicas e cerca de isolamento	32.282,8	21,85
Material de construção e ferramentas	32.116,9	21,74
Práticas edáficas e vegetativas	22.177,25	15,01
Transporte	20.317,5	13,75
Total	147.744,45	100

Trata-se, portanto, de uma feição erosiva de tamanho médio (Tabela 2), ainda mais se compará-la com voçorocas, em solos mais profundos, que podem alcançar dezenas de metros de profundidade. Assim, chama a atenção o alto custo para intervenção de tal problema ambiental, mesmo utilizando técnica alternativa de uso de pneus inservíveis para a estabilização do processo erosivo.

Tosto et al. (2000), descreve a recuperação de uma voçoroca, com 1,5 ha de área, 120 m de extensão e profundidade de 15 m em sua cabeceira, com o uso de técnicas alternativas. Após a recuperação desta erosão, formou-se um pasto no local para uso na pecuária leiteira, assim, tornando dois hectares, que estavam fora do processo produtivo, disponíveis após sua recuperação. O custo total da técnica de recuperação, em dólares (1997), foi de US\$ 2.951,00 para toda área, o que correspondeu a US\$ 1967,00 por hectare.

Analisando o custo de cada item associado à recuperação da voçoroca (Tabela 17), observa-se que a mão-de-obra foi o item de maior dispêndio financeiro, pois para recuperação do passivo ambiental foi necessário muito trabalho braçal, devido à natureza do projeto conveniado que financiou a recuperação da voçoroca e só admitia repasse financeiro à mão de obra de assentados para realizar atividades de limpeza ou capina da área, abertura de vala para a construção do dreno ao fundo da voçoroca, construção de tanques de alvenaria para dessedentação do gado, construção e pintura da cerca para isolamento da voçoroca, colocação dos pneus dentro da voçoroca, plantio de mudas e sementes de gramíneas e adubação, combate à formigas e rega das espécies cultivadas durante período seco,

manutenção da roda de água para abastecimento dos tanques de dessedentação. A remuneração dos assentados para trabalhar nesta recuperação representou grande custo, porém, foi uma fonte de renda e trabalho para muitas pessoas que ainda não conseguem tirar o sustento de suas famílias com o que produzem em suas terras. Além deste fato, a participação direta da comunidade no trabalho de recuperação tem valor didático, pois mostra a estas pessoas o quão danosos podem ser os efeitos da erosão e quão difíceis são de se recuperar.

A participação das pessoas envolvidas na recuperação, conforme foi exposto, está de acordo com o que sugere Morgan (1996). Para este autor, quando há limitado número de fazendeiros envolvidos na tomada de decisão e execução do trabalho, estes tem a impressão que com a intervenção realizada, seus problemas foram solucionados. Portanto, comportam-se como se não fosse necessária nenhuma mudança de comportamento e/ou trabalho adicional para a continuidade da conservação do solo.

Outro custo que onerou o projeto foi com o transporte. Apesar de este custo figurar entre os menores gastos, mesmo assim representou um valor considerável (13,54%) da fatia total despendida. Apesar de o assentamento estar situada no município de Baliza, o acesso ao lote é menor partindo-se de Doverlândia (GO), à 50 km deste município. A estrada de terra do assentamento encontra-se em situação precária embora seja uma rodovia estadual, além de apresentar um grande fluxo de caminhões. Da sede do assentamento ao lote, as condições de transporte pioram muito seja pela quantidade de buracos ou pelos bancos de areia na pista. Esses fatos se constituem em obstáculos ao transporte de mercadorias e pessoas no local.

Salienta-se a dificuldade de se conseguir frete para transportar os pneus para este lote. Além das péssimas condições da estrada de acesso, que proporcionou o atolamento e danos a caminhões, os pneus são um tipo de carga muito desuniforme, já que haviam variados tipos de pneus, desde pneus de motos até de caminhões, o que os torna difícil para seu manuseio e transporte. Além disso, são leves, o que reduzia o valor pago pelo seu transporte, já que o valor do frete é função da distância percorrida e peso da carga. Portanto, muitos fretistas recusavam-se em realizar este transporte já que esta carga iria lhes render menos dinheiro e proporcionar mais dificuldades.

As práticas vegetativas utilizam a vegetação para proteger o solo contra a erosão; já as práticas edáficas destinam-se a manter ou melhorar a fertilidade, exercendo controle indireto sob a erosão; e as práticas mecânicas que utilizam estruturas artificiais para diminuir velocidade de escoamento superficial e melhorar infiltração (Bertoni &

Lombardi Neto, 2008). Os custos referentes às práticas vegetativas, edáficas e mecânicas são apresentadas nas tabelas 18, 19 e 20.

Tabela 18. Custos das práticas vegetativas.

	Especificação	Quantidade	Total (R\$)	%
Práticas Vegetativas				
Sementes	<i>Brachiaria decumbens</i>	30 sc	825	29,89
	estilozantes campo grande	9 sc	1.935	70,11
TOTAL (R\$)			2.76	100,00
Mudas	<i>Melissa officinalis</i>	1000	1.5	12,048
	<i>Cymbopogum mardus</i>	2000	3	24,096
	pequi	100	600	4,819
	baru	200	700	5,622
	goiaba	200	1.2	9,639
	gabiropa	200	800	6,426
	manga	200	600	4,819
	mangaba	200	1.4	11,245
	cajuzinho	200	1	8,032
	eucalipto	1500	1.65	13,253
TOTAL (R\$)			12.45	100,000

Tabela 19. Custos das práticas edáficas.

	Especificação	Quantidade	Total (R\$)	%
Práticas Edáficas				
Adubos	yoorin master 40 kg	1 sc	55	1,48
	adubo 4-14-8 +Zn 50kg	0,8 ton.	772,35	20,78
	KCl 50 kg	10 sc	1.13	30,40
	super fosfato simples 50 kg	10 sc	780	20,98
	uréia 30 kg	10 sc	980	26,36
TOTAL (R\$)			3.717,35	100,00
Calcário	calcário dolomítico	90,75 ton.	3.249,9	100
TOTAL (R\$)			3.249,9	100,00
TOTAL (R\$)			22.177,25	

Tabela 20. Custos das práticas mecânicas e isolamento da voçoroca.

	Especificação	Quantidade	Total (R\$)	%
Máquinas	escavadeira hidráulica	13 horas	1.95	42,62
	caminhão caçamba	3 dias	1.2	26,23
	transporte da escavadeira	-	1.425	31,15
TOTAL (R\$)			4.575	100,00
Dreno	Bidim RT 10 (2,3 x 200m)	1840	6.99	93,45
	viaplus 1000 - caixa (18 kg)	14	490	6,55
TOTAL (R\$)			7.48	100,00
Cerca	mourão eucalipto 14-16x2,5	117	3.966	19,61
	mourão eucalipto 06-08x2,2	1424	9.403,8	46,49
	arame farpado rolo 500 m	61	6.73	33,27
	grampo	31	128	0,63
TOTAL (R\$)			20.227,8	100,00
TOTAL (R\$)			32.282,8	

Ao longo do talvegue da voçoroca foram construídas quatro bacias de contenção cuja função foi de reter os sedimentos gerados pela erosão. Estas estruturas foram cavadas com tratores de esteiras e retro-escavadeiras, e não estavam inicialmente previstas no projeto de estabilização. A decisão de se construir estas bacias ocorreu pelo fato de não ter sido possível obter a quantidade necessária de pneus doados para o preenchimento de 70% do volume de cubagem da voçoroca dentro do período de intervenção previsto no projeto original. Deste modo, optou-se pela execução destas estruturas para dar uma conformação mais estável ao canal e melhorar a retenção de sedimentos no seu interior, sendo as bacias interligadas por drenos subterrâneos, construídos com geotêxtil (manta bidim), britas, feixes de bambu e recobertos com pneus e terra, com o objetivo de evitar o rompimento das bacias de retenção instaladas na parte mais íngreme da encosta.

Os drenos associados ao uso dos pneus no interior da voçoroca aumentaram a taxa de condução de água na área de intervenção e propiciaram o acúmulo de água nas duas últimas bacias de retenção no terço inferior da encosta. Esse acúmulo de água vem proporcionando a elevação do lençol freático e o ressurgimento de água em vários locais (vereda, nascentes, cisternas) a jusante do local de intervenção.

Entre as diversas práticas de conservação do solo, o plantio de espécies de interesse econômico na área de intervenção com intuito de recobrir o solo, melhorar a estabilização dos taludes da voçoroca, bem como propiciar fonte de renda futura ao dono

do lote onde ocorreu o voçorocamento, foi uma das que despertou maior interesse por parte do agricultor pela intervenção. Foi acordado que a área afetada seria isolada da exploração econômica (pecuária de corte) até que a mesma estivesse estabilizada. Contudo, este acordo não tem sido cumprido e a área isolada tem sido utilizada como pastagem, observando-se o livre tráfego de animais sobre a voçoroca em período de recuperação (Figura 13). Este fato é relevante, pois o pastejo do gado pode provocar sulcamentos nos taludes das bacias de contenção e reativar o processo de incisão erosiva. Cabe salientar que a maioria das mudas plantadas no local morreu por falta de manutenção (ataque de formigas cortadeiras, falta de água, ausência de capina) e, portanto, não cumpriram seu papel de proteção ao solo e não geraram renda ao agricultor, indicando que a educação ambiental deve preceder à intervenção do passivo ambiental.

Os agricultores devem ser capacitados sobre a prevenção da erosão e seu controle. Quando possível, deve-se proceder o plantio de árvores de interesse econômico. Esta medida possibilitará o retorno econômico para a área rural e incentivará a redução da destruição indiscriminada da cobertura vegetal. Também, as práticas mecânicas de controle da erosão devem ser acompanhadas por políticas que protejam a cobertura vegetal do solo (Sheng & Liao, 1997).

O método utilizado para estabilização da voçoroca mostrou-se eficaz, pois permitiu interromper o avanço da incisão ao longo da área, estabilizar os taludes da voçoroca, conter os sedimentos no interior da incisão erosiva e aumentar o recobrimento da área pela revegetação (Figura 13). Entretanto por falta de manutenção da área de intervenção por parte do agricultor beneficiado pela mesma, não foi realizado o re-plantio das mudas que morreram, a área não tem sido adubada, calcareada e, para agravar este descaso, o proprietário tem usado esta área como pastagem.



Figura 13. Condição da voçoroca “antes” e “após” a intervenção e sua condição atual.

Apesar de muitas estratégias para prevenção e combate à erosão por voçorocas terem obtido sucesso, estas raramente têm sido adotadas pelos agricultores ao longo do tempo e em larga escala. A vontade para adoção de novas e melhoradas técnicas de conservação de solo e água muitas vezes está atrelada à percepção de perigo das voçorocas

para o agricultor (Valentim et al., 2005). Também, os agricultores adotarão práticas de conservação do solo se dispuserem de trabalho, capital, tecnologia e se perceberem um benefício econômico imediato. Assim, infelizmente, a adoção generalizada de medidas de conservação do solo ainda é pequena (Morgan, 1996).

O alto custo despendido para a estabilização desta voçoroca evidencia a gravidade desta degradação ambiental. A baixa aptidão agrícola deste solo (Neossolo Quartzarênico), inapto para usos mais intensivos, como a lavoura se associado ao nível de manejo A, denota seu reduzido potencial econômico, devido à sua restrição agrícola e alta suscetibilidade à erosão, o que agrava ainda mais o problema de sustentabilidade econômica e ambiental dessa área. Segundo Morgan (1996), o uso de metodologias de classificação da capacidade de uso da terra, possibilita planejar o seu uso e discriminar áreas de uso restrito, onde o controle da erosão é caro e difícil. Esta terra, segundo o autor, é propensa a intensa degradação, que poderá provocar até seu abandono. Muito capital pode ser gasto na tentativa de recuperação de uma área onde a degradação do solo se tornou quase irreversível, assim, a baixa produtividade desta área degradada indica que o investimento em sua recuperação é altamente questionável, uma vez que esta área dificilmente será reparada.

Outro fator que vem de encontro com a conservação deste solo é o manejo da área e o tamanho do lote. Nesse assentamento, em média, cada assentado tem uma área de 40 ha e este lote em questão é habitado por uma única família (um casal com crianças em tenra idade), que não possui força de trabalho suficiente para explorar toda a área do lote. Em todas as visitas técnicas realizadas a esta área, nunca foi notada a presença de algum tipo de plantação, nem mesmo para a subsistência da própria família. Nos lotes, que tem em comum a área voçorocada, não há hortas e nem pomares, evidenciando certo desinteresse por parte dos assentados na prática agrícola, a falta de assistência técnica para auxiliá-los e encorajá-los na execução de projetos e trabalhos, bem como, falta de recursos para o plantio das culturas, trato dos animais, manejo do solo e para própria melhoria de condições de vida destas famílias que vivem na absoluta pobreza. Portanto, as dimensões desses lotes, as condições edafoclimáticas dessa região, a pouca mão-de-obra disponível, que é mal informada e até mal nutrida, os escassos recursos acabam por induzir a exploração desta área com a pecuária extensiva, em nível de manejo A, ou seja, num nível tecnológico primitivo (Ramalho Filho & Beek, 1995), que associado à fragilidade inerente deste solo, resultam em sulcos de erosão que se tornam feições características da paisagem.

7. CONCLUSÕES

1. A classificação do solo, principalmente a técnica/interpretativa, é uma ferramenta importante na determinação das limitações de um solo para seu uso agrícola, bem como para determinar seu melhor uso e manejo;

2. O solo classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico apresentou severas limitações para o uso agrícola sob manejo de baixo nível tecnológico;

3. Os processos erosivos e de degradação pelos quais este solo passa, sofrem maior influência por seu uso e manejo do que por suas propriedades físico-químicas, indicando que a atual exploração deste solo não é sustentável, levando-o à degradação.

4. A metodologia adotada para a contenção do processo de voçorocamento se mostrou eficiente e o custo dessa intervenção denota a gravidade do problema;

5. A baixa aptidão agrícola do Neossolo Quartzarênico, associada ao nível de manejo praticado, indica que a intervenção seria inviável por parte do agricultor.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALFSEN, K. H.; DE FRANCO, M. A.; GLOMSRØD, S.; JOHNSEN, T. The cost of soil erosion in Nicaragua. **Ecological Economics**. Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 129-145, 1996.

ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; JORGE, R. F.; BARBOSA, J. C. Funções de pedotransferência para a curva de Resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, p. 2235-2243, 2008.

ANDRADE, A. G.; PORTOCARRERO, H.; CAPECHE, C. L. **Práticas Mecânicas e Vegetativas para Controle de Voçorocas** – Comunicado Técnico 33. Embrapa, Rio de Janeiro, 2005.

AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. A ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: características e processos associados. **Geonomos**. Belo Horizonte, v. 14, p. 75-86, 2006.

BARBIER, E. B. The Economics of Soil Erosion: Theory, Methodology and Examples. In: Fifth Biannual Workshop on Economy and Environment in Southeast Asia (Singapore, November 28-30, 1995). Disponível em: < <http://www.idrc.ca/uploads/user-S/10536145400ACF2B4.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2010.

BERTOLINI, D. & LOMBARDI NETO, F. Controle de voçorocas. In.: LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (org.). **Manual Técnico de Manejo e Conservação de Solo e Água**. 2ª impressão. Campinas. CATI, 1994.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

BENNETT, H. H. The cost of soil erosion. **Ohio Journal of Science**. Columbus, v. 33, n. 4, 271-279, 1933.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 31, n. 1, p. 133-142, 2007.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches. **Catena**. Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 73-86, 2006.

BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTINEZ, M. A.; MENEZES, S. J. M. C. Resistência Hidráulica da Crosta Formada em Solos Submetidos a Chuvas Simuladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 30, p. 13-21, 2006.

BRASIL. Lei nº 12.305, Política Nacional de Resíduos Sólidos, 02 DE Agosto de 2010. Disponível na internet no site http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm, acessado em 04/05/2011.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama, nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível na internet no site www.mma.gov.br/conama, acessado em 04/06/2009.

BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; MCCracken, R. J. **Soil Genesis and Classification**. Ames. Iowa State University Press. 1973. 360 p.

CAMAPUM de CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006.

CAPECHE, C.L.; MACEDO, J.R.; PRADO, R.B.; PIMENTA, T.S.; MELO, A. S. Degradação do solo e da água: impactos da erosão e estratégias de controle. In.: TAVARES, S. R. L.(org). **Curso de Recuperação de Áreas Degradadas. A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação**. Embrapa Solos, 2008. cap. 5, p. 105-132. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao.html>> acesso em: 10 jul. 2009.

CAPPI, D. M.; **Recuperação ambiental de áreas erodidas como alternativa de destino final de pneus inservíveis**. 2004. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos Físicos, Químicos e Biológicos de Solo de Cerrado sob diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, E. F. **Perícia agrônômica e ambiental: conduta do perito, laudos e pareceres em face da legislação**. Rio de Janeiro. Deescubra, 2008. 684 p.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. FUNAPE, 2005. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia>. Acesso em: 15/04/2010.

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, E. F.; AGLIO, M. L. D. O Recurso Natural Solo. In.: MANZATTO, C. V. (org.). **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2002, cap. 1, p. 1-12.

Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI. Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/Cati/_projetos/pemh/pemh_final.php>. Acesso em 12 jul. 2010.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “fallout” do ¹³⁷Cs**. Tese de Doutorado. Piracicaba: USP/ESALQ, 2003. 79 p.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas Relações com o Uso e o Manejo. In.:SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina. Embrapa Cerrados, 2004, cap. 1, p. 29-61.

COSTA, C. S.; RODRIGUES, J. J. V.; CAVALCANTI, A. C.; MARINHO, L. B.; NETO, L. A. A.; SILVA, T. J. S. Água disponível em um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO após adição de um condicionador mineral do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.13, p.524–530, 2009.

COSTA, E. T. S.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; OLIVEIRA, L. C. A.; VISIOLI, E. L.; LOPES, G. Subproduto da Indústria de Alumínio como Amenizante de Solos Contaminados com Cádmio e Chumbo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, p. 2533-2546, 2008.

CRASWELL, E. T. Erosion Control and Soil Conservation. In: LAL, R. **Encyclopedia of Soil Science**. 2 ed. Volume 1.

Disponível:<<http://www.google.com/books?id=sjNZ3LSUz80C&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q=&f=false>> acesso em: 15/08/2009

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

FANNING, D. S. & FANNING M. C. B. **Soil Morphology, Genesis and Classification**. United States of America. John Wiley & Sons. 1989. 395 p.

FARIAS, R. C.; CAMAPUM de CARVALHO, J.; PALMEIRA, E. M. Sistema de barramentos para recuperação de ravinas e voçorocas. In: CAMAPUM de CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da. S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006. Cap. 12, p. 387-425.

FERNANDES, L. S.; GRIFFITH, J. J.; FONSECA, D. M. DIAS, L. E. RUIZ, H. A. Uso de geomantas no controle da erosão superficial hídrica em um talude em corte de estrada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. V. 33, p. 199-206, 2009.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In.: DE JONG VAN LIER, Q. (org.). **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, cap. 1, p. 1-27.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **A framework for land evaluation**. FAO Soils bulletin 32. Roma, 1981. 2ª Ed.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS . FAO - watershed management field manual - **Gully control**. Roma, 1986. Disponível em: <<http://www.fao.org/DOCREP/006/AD082E/AD082e00.htm>>. Acesso em 10 jun. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Guidelines for soil description**. 4ª ed. Roma, FAO, 2006. 97 p.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 43, p. 641-648, 2008.

FREIRE, O. **Solos das Regiões Tropicais**. Botucatu: FEPAF, 2006. 268p.

GARCIA, G. J.; ESPINDOLA, C. R. SIAT – Sistema de Avaliação de Terras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.5, p.223-228, 2001.

GRISSINGER, E. H. Rill and Gullies erosion. In.: AGASSI, M. (org.). **Soil erosion, Conservation, and Rehabilitation**. New York. Marcel Dekker Inc., 1995, cap. 8, p. 153-167.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. San Diego. Academic Press, 1998. 757p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Mapa de solos do Brasil, escala 1:5.000.000. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2007. 316 p.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4a aproximação**. Campinas: SBCS, 1991. 175 p.

LI, Y., POESEN, J., VALENTIN, C., 2004. **Gully Erosion Under Global Change**. Sichuan Science Technology Press, Chengdu, China. 354 p.

LOMBARDI NETO, F. & DRUGOWICH, M. I. (org.) **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, 1994. 565 p.

MACEDO, J. R.; MARTINS, J. S.; ARDHENGUI, A. F.; SOBRINHO, J. S.; ASSIS, D. S. **Uso e Conservação de Solos Arenosos sob Pastagens em São Gabriel do Oeste, MS - recomendações técnicas (Circular técnica nº 3)**. Rio de Janeiro. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1998.

MACHADO, R. L. **Perda de solos e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul**. 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MACHADO, L. R., CAMPELLO, E. F. C. RESENDE, A. S. MENEZES, C. E. G. SOUZA, C. M. FRANCO, A. A. **Recuperação de voçorocas em áreas rurais**. Embrapa Agrobiologia, 2006. Disponível em:

<<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/vocoroca/index.htm>>.

Acesso em: 04/06/2009.

MACHADO, L. R.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; OLIVEIRA, J. A.; FRANCO, A. A. Soil and nutrient losses in erosion gullies at different degrees of restoration. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, p. 945-954, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARQUES, J. F.; PEREIRA, L. C. **Valoração econômica dos efeitos da erosão: estudo de caso em bacias hidrográficas**. Documentos, 40. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente. 2004. 21p.

MARQUES, J. F.; PAZZIANOTTO, C. B. **Custos econômicos da erosão do solo: estimativa pelo método do custo de reposição de nutrientes - Simulação do custo econômico da erosão do solo**. Embrapa Meio Ambiente, 2004. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/analise_econ/> acesso em: 04 abr. 2009.

MARSHALL, T. J.; HOLMES, J. W.; ROSE, C. W. **Soil Physics**. 3 ed. New York. Cambridge University Press. 1999. 453 p.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; RAMOS, M. C.; RIBES-DASI, M. On-site effects of concentrated flow erosion in vineyard fields: some economic implications. **Catena**. Amsterdam, v. 60, p.129-146, 2005.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. 2 ed. Harlow: Longman, 1996, 198 p.

MURCK, B. W.; SKINNER, B. J.; PORTER, S. C. Soil Resources. In: MURCK, B. W.; SKINNER, B. J.; PORTER, S. C. **Environmental Geology**. New York: John Wiley & Sons, 1996. cap. 14, p. 351-376.

NASCIMENTO, M. A. L. S. Erosões urbanas em Goiânia. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia. V. 14, p. 77-101, 1994.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3 ed. Piracicaba.: FEALQ. 2008. 592 p.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. cap. 2, p. 57-94.

OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. L. L.; RODRIGUES, C.; BORGES, J. D. Adsorção e Deslocamento do Íon Cádmio em Solos do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.14, p.848–855, 2010.

OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. L. L.; RODRIGUES, C.; BORGES, J. D. Isotermas de Sorção de Metais Pesados em Solos do Cerrado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.14, p.776–782, 2010.

PARAHYBA, R. B. V.; LEITE, A. P.; NETO, M. B. O.; SANTOS, J. C. P. Hidropedologia. In.: SANTOS, J. C. P. (org.). **Avaliação Detalhada do Potencial de Terras para Irrigação nas Áreas de Reassentamento de Colonos do Projeto Jusante - área 3, Glória, Ba**. Embrapa Solos - UEP/NE, 2008. Cap. 3, p. 45-55. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>> acesso em: 10 ago. 2009.

PEDRON, F. A.; POELKING, E. L.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; KLAMT, E. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.36, p.105-112, 2006

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras: proposta metodológica**. Documentos 43. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36p.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 2 ed. Belo Horizonte: FAPI, 2006. 239p.

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science**. Washington, v. 267, p.1117-1123, 1995.

POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G.; VALENTIM, C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**. Amsterdam, v. 50, p.91-133, 2003.

POESEN, J., VALENTIN, C. (Eds.), 2003. Gully Erosion and Global Change. **Catena**. Amsterdam, v. 50, p. 87– 564. Special issue.

PRADO, H. **Pedologia Fácil – Aplicações na Agricultura**. 2 ed. Piracicaba. 2008. 145 p.

RADOANE, M. ICHIM, I. RADOANE, N. Gully distribution and development in Moldavia, Romania. **Catena**. Amsterdam, v. 24, p. 127-146, 1995.

RAMALHO FILHO, A; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

RODRIGUES, W. Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em Região de Cerrados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 43, n. 1, p. 135-153, 2005.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO submetido a

diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 34, p. 667-674, 2010.

SALES, M. M.; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; PALMEIRA, E. M. Controle de erosões. In: CAMAPUM de CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da. S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006. Cap. 13, p. 427-464.

SANTANA, N. M. P. CASTRO, S. S. STONE, L. F. SILVA, S. C. Chuvas, erosividade, erodibilidade, uso do solo e suas relações com focos erosivos lineares na alta bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia, v. 19, p. 103-121, 2007.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª Ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92 p.

SCHNEIDER P.; KLAMT, E.; GIASSON, E. **Morfologia do Solo. Subsídio para caracterização e interpretação de solos a campo**. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72p.

SELBY, M. J. Erosion of hillslope by raindrops and flowing water. In: SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Processes**. 2 ed. New York: Oxford University Press, 1993. cap. 12, p. 219-248.

SHENG, J. LIAO, A. Erosion control in south China. **Catena**. Amsterdam, v. 29, p. 211-221, 1997.

SILVA, A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N. Relação entre voçorocas, usos da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 459-464, 1993.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e um Latossolo Vermelho sob diferentes Sistemas de Manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. V.40, p.1135-1139, 2005.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.7, p.18-23, 2003.

SPAROVEK, G.; HORNINK, S.; SCHNUG, E. A solution for worn out tires, gully erosions, forests and dengue fever in Brazil. **Landbauforschung Völkenrode**. Völkenrode, v. 51, n. 3, p. 95-99, 2001.

SPAROVEK, G.; WEILL, M.M.; RANIERI, S.B.L.; SCHNUG, E.; SILVA, E.F. The life-time concept as a tool for erosion Tolerance definition. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 54, p.130-135, 1997.

TAVARES, S. R. L. Áreas Degradadas: Conceitos e Caracterização do Problema. In.: TAVARES, S. R. L. (org). **Curso de Recuperação de Áreas Degradadas. A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação**. Embrapa Solos, 2008. cap. 1, p. 01-08.

TÔSTO, S. G.; CAMPOS, E. M. G.; NEVES, C. **Estudo de avaliação econômica na recuperação de voçoroca em Lagoa Dourada, MG.** Embrapa Solos Rio de Janeiro, p. 27, 2000.

VALE JÚNIOR, J. F.; BARROS, L. S.; SOUSA, M. I. L.; UCHÔA, S. C. P. Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de *Acacia mangium* em Roraima. **Revista Agroambiente.** Boa Vista, v. 3, p. 1- 8, 2009.

VALENTIM, C. POESEN, J. YONG, L. Gully erosion: impacts, factors and control. **Catena.** Amsterdam, v. 63, p. 132-153, 2005.

WHITE, R. E. **Princípios e Práticas da Ciência do Solo – o solo como um recurso natural.** 4 ed. São Paulo: Andrei, 2009. 417p.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. W. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation.** Ankeny, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.