



ESTUDO DE IMPACTOS CAUSADOS POR MINERAÇÃO ATRAVÉS DA ABORDAGEM SISTÊMICA EM GEOMORFOLOGIA – O EXEMPLO DA MICROBACIA DO CÓRREGO SÃO TOMÉ/ SÃO TOMÉ DAS LETRAS (MG)

Roberto Marques Neto*

Francisco S. B. Ladeira**

Palavras Chave – mineração, sistemas, bacia hidrográfica

INTRODUÇÃO

A abordagem sistêmica encontra aplicação oportuna no estudo de impactos ambientais de variada ordem, sobretudo quando tomada a bacia hidrográfica como unidade de análise, dados os fluxos de matéria e energia que perfazem os subsistemas componentes.

A Geomorfologia emerge como área do conhecimento fundamental para o estudo de questões ambientais, se destacando também nos casos que tomam a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Christofolletti (1994) chama a atenção para a aplicabilidade da Geomorfologia nos diagnósticos ambientais e nos projetos de planejamento, referindo-se, no que toca particularmente à mineração, a utilidade desse tipo conhecimento para minimizar as alterações topográficas irreversíveis a que esse tipo de atividade conduz.

É atribuída à Chorley, em 1962 *apud* Christofolletti (1999), a introdução do conceito de sistema na Geomorfologia. Chorley e Kennedy mencionaram a respeito da interação e conectividade entre os elementos (atributos) de um sistema, que se desenham de maneira exemplar numa bacia de drenagem.

Todo sistema recebe matéria e energia (*input*) que é posteriormente eliminada do sistema (*output*). Em uma bacia hidrográfica o *input* é naturalmente dado pelo clima (precipitação), onde a água de escoamento superficial se desloca pelos subsistemas vertente e canal fluvial em direção à drenagem coletora principal, até se transformar em *output* na desembocadura. Os sedimentos transportados também configuram matéria integrante desse tipo de sistema. Uma bacia hidrográfica, em função desses atributos naturais, é um sistema aberto.

Não é apenas os sistemas geomorfológico, climático e biológico, entretanto, que podem ocorrer em uma bacia hidrográfica. Quando o sistema humano se insere no espaço



em questão, os *inputs* podem ser oriundos das atividades proferidas pelo Homem na bacia, o que pode acarretar alterações negativas no sistema ambiental. É isso que este estudo tem por objetivo demonstrar, tomando como amostra a microbacia do Córrego São Tomé, localizada no setor Sudoeste do município de São Tomé das Letras (MG) (Fig. 1), submetida a um processo intenso de extração de quartzito que altera os fluxos de matéria e energia e o quadro físico como um todo dentro desse sistema (fig. 2). A avaliação dos impactos, que se dará segundo a abordagem sistêmica em Geomorfologia, se valerá da análise da ação antrópica e de todos os condicionantes físicos, bem como da apreensão dos entes que compõem a bacia.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa demandou tanto estudos bibliográficos como coleta de dados primários em campo. As documentações cartográficas utilizadas foram as cartas topográficas do IBGE 1/50 000 referentes às folhas SF –23-X-C-IV-1 (Luminárias) e SF-23-X-I-IV-2 (Três Corações) e imagens de satélite TM – LANDSAT – 5 recolhidos no site da EMBRAPA (www.embrapa.br) e da SEMAD (Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentado de Minas Gerais), no endereço (www.semad.mg.gov.br).

As bases cartográficas foram digitalizadas em software Cad, em cima do qual foi digitalizada uma base cartográfica composta pelo limite da bacia, curvas de nível, pontos cotados e drenagem. Nessa base foi inserida uma carta geológica destacando a área de extração (fig. 3) e uma carta clinográfica, esta última construída segundo o método do ábaco graduado proposto por De Biasi (1970) e seguindo as adaptações feitas por Sanchez (1993). As classes adotadas foram entre 5% e 10 % (2,8 e 5,73 graus), 10% e 20% (5,73 e 11,46 graus), 20% e 40% (11,46 e 22,92 graus), 40% e 80% (22,92 e 45,87 graus) e superior a 80%.

É adotado como recurso metodológico nesta pesquisa a Teoria Geral dos Sistemas, dada sua pertinência no estudo e gestão de bacias hidrográficas. Cunha (2000) assevera que “é impossível compreender o relevo sem considerar os fluxos de matéria e energia responsáveis por sua gênese e esculturação”. Em uma bacia de drenagem, onde os entes formadores e os processos reinantes se interconectam de maneira indissociável, a abordagem sistêmica ganha oportuna aplicabilidade.



Serão levados em conta os quatro primeiros tipos de sistemas dos onze classificados por Chorley e Kennedy (1971) *apud* Christofolletti (1999), os quais são considerados de maior relevância na alçada da Geografia Física:

Sistemas morfológicos – se referem à associação das propriedades físicas dos sistemas e de seus componentes com a geometria e composição do referido sistema, formando-se os sistemas menos complexos das estruturas naturais;

Sistemas em seqüência ou encadeantes – nesse caso, uma cadeia de subsistemas transferem matéria e energia em cascata, onde o *output* de um subsistema é convertido em *input* do subsistema da seqüência;

Sistemas processos-respostas – resultam da associação dos sistemas morfológicos (processo) com os sistemas em seqüência (forma). Nesse caso a forma é uma resposta ao processo, ao funcionamento do sistema;

Sistemas controlados – são representados pela ação do Homem nos sistemas naturais, que alteram os fluxos de matéria e energia que, por sua vez, refletem na forma do referido sistema.

A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UM SISTEMA – ASPECTOS TEÓRICOS

É muito comum o estudo e gestão de bacias hidrográficas em Geomorfologia tomando como forma de análise a abordagem sistêmica. No caso analisado, a intervenção antrópica suplanta a dinâmica natural da bacia, rompendo o seu equilíbrio e alterando a forma.

Em Geomorfologia, o conceito de equilíbrio, conforme aponta Christofolletti (1974) é entendido como uma composição de um conjunto auto-regulador formado por materiais, processos e geometria do modelado, no qual o ajustamento entre materiais e processos determina a forma. Para uma bacia hidrográfica, o autor acrescenta que as condições climáticas, litológicas, biogeográficas e outras vão determinar a estruturação da rede de drenagem e das formas de relevo em questão.

A bacia hidrográfica é um sistema físico natural e se comporta como um sistema geral. O *input* natural é dado pelo clima, em que a precipitação é o fenômeno essencial, e o *output* é representado pela saída do fluido pela desembocadura do canal principal, com perdas intermediárias por infiltração e evaporação ou evapotranspiração. Deve-se ressaltar ainda que a água, no contato com o solo e com a estrutura litológica, promove a alteração e desagregação do material, que passa a fazer parte do sistema na forma de sedimentos. Christofolletti (1981) chama a atenção pelo fato de que, ainda que uma parcela da carga



detrítica dos cursos d'água seja obtida através da ação erosiva das águas nas margens e no fundo do leito, a maior parte provém do subsistema vertente, ao longo do qual se dá o transporte de material removido e intemperizado.

A esse respeito, Christofolletti (1987) assevera ainda que a circulação da água, sedimentos e outros materiais, bem como os fluxos de energia, respondem pela interação e coesão do sistema espacial, sendo que tal circulação se processa através de redes de canais, dentre as quais a mais visível é a rede de canais fluviais.

A carga sedimentar que se acumula no fundo dos vales está diretamente relacionada com o perfil de equilíbrio dos cursos d'água envolvidos, uma vez que a estabilidade parte do princípio de uma relação harmônica entre erosão e sedimentação no canal fluvial. Entretanto, cabe ressaltar, de acordo com Christofolletti (1981) que a morfologia de uma bacia de drenagem e de um rio não é estática, isto é, o equilíbrio entre sedimentação e erosão é relativo, uma vez que constantemente material é removido de maneira desigual, que pode variar conforme a estação do ano ou com o trecho do curso d'água (que dá margem à declividades e rugosidades diferenciadas), determinando um processo de sedimentação também desigual, com constantes modificações nos canais fluviais e nas formas de relevo adjacentes. Com base nisso, Morisawa (1968) *apud* Christofolletti (1974) define que:

“um rio equilibrado é aquele que atingiu o estado de estabilidade de modo que, sobre determinado período de tempo, a água e a carga detrítica que entram no sistema são compensadas pelas que dele saem. O estado de estabilidade é atingido e mantido pela interação mútua das características do canal, tais como declividade, forma do perfil transversal, rugosidade e padrão do canal. Ele é um sistema autorregulador; qualquer alteração nos fatores controlantes causará um deslocamento em certa direção que tenderá a absorver o efeito da mudança”.

Dessa maneira, um rio ou outro sistema busca naturalmente seu equilíbrio, numa interação natural entre processos e formas. A alteração nos processos atuantes em uma bacia de drenagem tende a modificar as formas, desenhando-se impactos de cunho geomorfológico dentro do sistema em questão, numa estreita relação entre topografia, solo, cobertura vegetal e litologia. Dentro de sistemas gerais, portanto, a organização se dá mediante uma ligação entre os elementos componentes, que devem ser analisados como um todo, e não separadamente. A bacia de drenagem pode ser considerada um sistema geomórfico, que, de acordo com Chorley (1975), são partes de “supersistemas” (como os conjuntos globais de formas de relevo) e desmembrados em subsistemas (vertente,



segmento fluvial), geralmente combinados em Geomorfologia de maneira seqüencial, onde o *output* de um subsistema constitui o *input* do outro.

DIAGNÓSTICO INTEGRADO DO MEIO FÍSICO

O município de São Tomé das Letras localiza-se no Planalto Sul Mineiro, perto do Alto Rio Grande, onde o Projeto Radambrasil (1983) situa como unidade Planalto de Andrelândia. Está determinado pelas coordenadas geográficas 21° 43' 20" lat Sul e 44° 59' 07" long Oeste. A área urbana localiza-se na Serra de São Tomé, que corta o município segundo a orientação NE-SW.

A microbacia do Córrego São Tomé tem suas cabeceiras na Serra de São Tomé, em altitudes superiores a 1300 metros, sustentada pelos quartzitos micáceos da Formação São Tomé das Letras, englobada por Trowu (1983) no Grupo Carrancas. Trowu (1986), no entanto, abandonou o termo ao encontrar ligação estrutural com as rochas do Grupo São João Del Rei, incluindo-as nessa denominação. Almeida (1992) explica a ocorrência desses metassedimentos segundo ciclos deposicionais, a que chama de Ciclo Depositional Andrelândia, encerrando um processo cíclico de deposição antecedido pelos ciclos Tiradentes, Lenheiro e Carandaí.

Barbosa e Ramos (1968) entendem a formação das cristas quartzíticas como resultado de intensas atividades tectônicas e erosivas. O ambiente deposicional que marcou o primeiro estágio dessa formação se refere ao ciclo de Almeida (*op cit*), que se encerrou no fim do Ciclo Uruaçuano, e que, conforme mostra o Projeto Radambrasil (1983) se deu em ambiente litorâneo, marcando a borda de uma microplaca proterozóica, ou a margem passiva do continente São Francisco. O arenito depositado sofreu metamorfismo de grau relativamente baixo. A área também esteve submetida aos eventos do Ciclo Brasileiro (que deu margem à falhamentos perpendiculares ao acamamento de mergulhos suaves) e aos agentes exógenos ao longo do fanerozóico. Em altitudes que giram em torno de 1 000 metros uma ruptura litológica separa os quartzitos do gnaiss Piedade.

A mata nativa outrora predominante na área é a mata latifoliada subcaducifólia, atualmente bastante degradada para dar lugar à culturas de café, milho e pastagem. Na bacia estudada se restringem a três manchas com os rebordos bastante retilinizados, denunciando a intervenção antrópica. Nos altos da Serra de São Tomé se desenvolve um campo rupestre ocorrendo arbustos, subarbustos, tufo de gramínea e pequenos indivíduos



arbóreos. Nessa bacia hidrográfica, essa vegetação ocupa toda a alta bacia poupada da mineração. Alguma vegetação de cerrado típico aparece nos interflúvios alçados em torno de 900 metros de altitude no setor direito da média-baixa bacia.

O clima vigente na área é o tropical de altitude (Cwb segundo o sistema classificatório de Köppen), que dá margem ao desenvolvimento da mata semidecídua nessa região do Sul de Minas.

O Córrego São Tomé desemboca no Rio do Peixe, nos limites com o município de Três Corações. Nesse trecho o Rio do Peixe apresenta uma baioneta associada a uma *shutter ridge* bem marcada, demonstrando os reflexos da neotectônica cenozóica na área. A drenagem é do tipo dendrítica, densidade média e largura fina a muito fina, exibindo rupturas de declive que dão margem à notáveis sistemas de encachoeiramento.

O Projeto Radambrasil (1983) mostra, para a região estudada, o predomínio de Cambissolos álicos, Latossolos vermelho-escuros distróficos, e Glei-húmico distrófico (Gleissolo melânico segundo o atual sistema de classificação), desenvolvidos a partir da decomposição das rochas do Complexo Amparo e dos metassedimentos Andrelândia. Nas serras locais aparece o neossolo litólico. A ocorrência de Latossolos, por sua vez, está associada à decomposição dos gnaisses em topográfica mais suave.

A ABORDAGEM SISTÊMICA EM GEOMORFOLOGIA NA AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA BACIA DO CÓRREGO SÃO TOMÉ

Constatados os impactos em uma área, parte-se para as práticas de gestão e planejamento, cujos objetivos melhor se ajustam quando se toma a bacia hidrográfica como unidade paisagística, dada a interação que se processa entre seus elementos e entre estes e as áreas circundantes, e assim por diante, perfazendo um encadeamento dinâmico. Prochnow (1990) assevera que analisar uma bacia implica em decompor sua estrutura a fim de se obter uma síntese, o que encontra compatibilidade com a abordagem sistêmica.

A mais visível das alterações ambientais decorrentes da mineração em São Tomé das Letras é a desconfiguração do relevo nos trechos explorados da Serra de São Tomé, que fica cada vez mais aplainada e repleta de crateras abertas e pilhas de estéril. Christofolletti (1991) lembra que as formas de relevo constituem respostas aos condicionamentos impostos pela litologia e pelos processos endógenos e exógenos que determinam sua evolução. A extração de quartzito vem modificando em algumas décadas o relativo



equilíbrio que caracteriza a paisagem topográfica, cuja mutação natural se dá, teoricamente, na escala do tempo geológico.

A extração de quartzito se dá na alta bacia do Córrego São Tomé, aonde as declividades são mais acentuadas, o que confere elevada energia potencial para os rejeitos se deslocarem vertente abaixo e atingirem os talvegues. O Córrego São Tomé conta com cinco canais formadores com cabeceiras em altitudes superiores a 1300 metros e que convergem quase no mesmo ponto, aonde uma ruptura de declive forma uma cachoeira e marca o início da média bacia. Apenas dois segmentos fluviais formadores, localizado a SE no setor da alta bacia ainda não foi afetado pela extração, apresentando mata ciliar em condições de normalidade. A área das demais nascentes encontra-se ocupada pelas mineradoras e mostram um quadro de degradação generalizada.

Contando com as declividades acentuadas, por vezes superiores a 80%, o estéril se desloca pelo sistema vertente e atinge os canais fluviais, que ficam dessa maneira entulhados em virtude de uma contribuição anômala que excede a competência da drenagem, ficando entulhada com os bancos de areia e seixos que se formam. As vertentes coletoras transportam o material que atinge o subsistema canal fluvial, por onde ganham o canal principal (Córrego São Tomé), que apresenta carga oriunda da mineração até sua foz no Rio do Peixe. Isso por que, nos períodos chuvosos, as condições de transporte de material em suspensão e por saltação mais eficientes determinam a retirada dos detritos depositados que sofrem nova deposição à jusante, quando a capacidade de transporte é exaurida novamente. Desenha-se aqui um nítido sistema em seqüência, numa cascata de matéria e energia amplamente alterada e controlada pela ação antrópica.

Da busca pelo equilíbrio promovida pela drenagem decorrem profundas alterações na paisagem. As mais marcantes ficam por conta das alterações topográficas provocadas pelos desmontes de morros e abertura de crateras que alteram de maneira drástica as formas de relevo na área de afloramento do quartzito. A falta de muros de contenção de rejeitos eficientes determina com que o estéril atinja facilmente os canais fluviais, que, conforme já notara Tricart (1977) provocam o sepultamento da vegetação, das camadas superficiais do solo, além de fazerem com que o curso d'água fique anastomosado e divagante. De fato, as anastomoses são amplamente verificadas, sendo que o córrego busca passagem entre bancos de areia e point bars. Na baixa vazão ele se infiltra consideravelmente na aluvião e abandona poças d'água onde resíduos tóxicos despejados pelas minas ficam comumente retidos.



O Ribeirão Passa Quatro, principal formador do Córrego São Tomé, com o qual guarda unidade quando essa rede hidrográfica é submetida à hierarquização de Horton, é um dos mais afetados. Imensa quantidade de material entulha por completo esse setor da bacia, cujo fluxo d'água, ao buscar os trechos menos obstruídos, acentua a erosão lateral e provoca um alargamento pronunciado do canal, alterando o regime de cheias e de infiltração nas margens, o que acarreta modificações em todo o ciclo hidrológico local. Os seixos que assoreiam a drenagem não apresentam as bordas arredondadas típicas de material trabalhado pela água, mas sim arestas angulares que denunciam a incapacidade do volume d'água envolvido em trabalhar o material.

Após a confluência das águas o canal principal passa a contar com um volume d'água maior. Entretanto, ainda assim, ocorrem alterações na forma em virtude da carga sedimentar trazida pelos subsistemas à jusante, no caso, as próprias vertentes (repletas de estéril) e os demais segmentos fluviais. Bancos de areia e seixos são encontrados ao longo do talvegue por toda a média-baixa bacia, sendo que, nesses trechos aonde a profundidade é diminuída pelo acúmulo de material, a erosão das margens tende a ser acentuada. Como o transporte é dinâmico e varia conforme a declividade e o regime pluviométrico, os bancos de material que são, normalmente, granodecrescentes, também obedecem a tal dinamismo, sendo transportados conforme a influência das condições climáticas e topográficas, sendo que, onde ocorre o acúmulo, as alterações na forma começam a se processar.

O canal fluvial tende a se alargar em virtude da elevada ordem granulométrica que caracteriza o material. Segundo Bloon (1969) rios que recebem elevada quantidade de material de grande tamanho tende, ao invés de desenvolver canais profundos, evoluir para um canal raso e largo, com o máximo de superfície do leito, buscando um padrão geométrico mais adequado para realizar o transporte que lhe é imposto.

O desequilíbrio no sistema discutido, que responde em sua maior parte por um processo de mineração depredatória, também é alterado em função de outras ações humanas, notadamente a retirada da cobertura vegetal para a pastagem, que predomina por toda média-baixa bacia. O pisoteio do gado desagrega as partículas formadoras do solo, que também são transportadas pelo subsistema vertente e atingem o talvegue, aumentando a complexidade na análise ambiental da área enfocada.



CONCLUSÕES

A abordagem sistêmica se mostrou amplamente aplicável no estudo proposto, demonstrando mais uma vez sua já reconhecida utilidade na gestão e manejo de bacias hidrográficas.

O estudo dos impactos oriundos da mineração também se mostrou factível mediante a abordagem sistêmica em Geomorfologia, sendo que os aspectos teóricos se mostraram congruentes com a dinâmica verificada em campo. No caso, os sistemas em cascata e os sistemas processo-resposta foram notados, bem como foi apreendida sua transformação em sistemas controlados, com ampla alteração nos fluxos de matéria e energia.

Para Christofolletti (1991) é o embasamento físico que deve ser manejado, sendo que os planejadores devem conhecer os condicionantes geomorfológicos e hidrológicos para a elaboração de seus programas.

Nesse caso, ao meio físico se soma a necessidade de uma conduta mais eficiente por parte dos proprietários das minas no que tange à recuperar as áreas degradadas e a uma maior disciplina em relação aos aspectos jurídicos que permeiam as atividades mineiras.

Adotando-se a bacia hidrográfica como unidade de análise, pode-se concluir ainda que as medidas preventivas e de minimização dos impactos tem no estudo sistêmico um importante subsídio, dada sua propriedade de entrelaçar tanto as variáveis como os invariantes envolvidos. Nesse estudo de caso isso ficou claro ao se perceber a dinâmica de transporte no tempo e no espaço, o que reclama medidas que dêem conta do rejeito envolvido, como a construção de muros de contenção, a serem feitos com o próprio rejeito, que também pode ser utilizado no fechamento das crateras. Se necessário ainda, deve-se procurar outras formas de emprego para esse material, ou, pelo menos, realizar a disposição das pilhas em setores já aplainados pela extração, inviabilizando um deslocamento maciço. Juntamente com as crateras o rejeito é a variável que mais altera a forma do referido sistema, sendo, portanto, necessário que se dê conta de seu fim, o que deve ser cobrado de maneira veemente das mineradoras envolvidas, que degradam sobremaneira o meio físico e não exibem, nem de longe, a contrapartida social esperada.

Por fim, a pesquisa realizada verificou que pouco adianta programas de planejamento ambiental para dar conta dessa situação sem colaboração por parte dos proprietários das minas para efetivar as propostas a serem oferecidas.



BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. F. M. – **O Pré-Cambriano no Brasil**. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 1984
- ALMEIDA, J. C. H. – **Mapeamento Geológico da Folha Luminárias MG (1/ 50 000) com Ênfase na Análise Estrutural dos Metassedimentos do Ciclo Depositional Andrelândia** – Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, 1992
- BARBOSA, R. A.; RAMOS, J. R. A. – Os Quartzitos de São Tomé das Letras. **Congresso Brasileiro de Geologia**. Belo Horizonte, 1968
- BLOON, A. L. – **Superfície da Terra**- Série textos básicos em geociências. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 1970
- BRASIL** – Projeto RADAMBRASIL. Folha SF – 23 – Vitória/ Espírito Santo, 1983
- CHORLEY, R. J. – Modelos em Geomorfologia. IN: Chorley, R. J., et al. (org) **Modelos Físicos e de Informação Geográfica**. Edusp, 1975
- CHRISTOFOLETTI, A. – **Geomorfologia**. Ed. Edgard Blücher, 1974
- _____ - **Geomorfologia Fluvial**. Ed. Edgard Blücher, 1981
- _____ - Significado da Teoria dos Sistemas em Geografia Física. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro, 1986-1987
- _____ - Condicionantes Geomorfológicos e Hidrológicos aos Programas de Desenvolvimento. IN: TAUKE, S. M. et al. (org) **Análise Ambiental: uma Visão Multidisciplinar**. Ed. UNESP. São Paulo, 1991
- _____ - Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. IN: CUNHA, S. B. *et al.* (org) **Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos** – Ed. Bertrand do Brasil. Rio de Janeiro, 1994
- _____ - **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Ed. Edgard Blücher, 1999
- CUNHA, C. M. L. – **A Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental**. Tese de Doutorado. Rio Claro, 2000
- DE BIASI, M. – Carta de Declividade de Vertentes: Confeção e Utilização. **Geomorfologia**, IGEO-USP- São Paulo, 1970
- EMBRAPA (www.embrapa.br)
- PROCHNOW, M. C. R. – **Análise Ambiental da Subacia do Rio Piracicaba – Subsídios ao seu Planejamento e Manejo**. Tese de Doutorado. Rio Claro, 1990
- SANCHEZ, M. C. – A Propósito das Cartas de Declividade. Rio Claro, 1993
- SEMAD – www.semاد.mg.gov.br
- TRICART, J. – **Ecodinâmica**. SUPREN. Rio de Janeiro, 1977



TROWU, R. A. J. – Novos Dados sobre os Grupos São João Del Rey, Carrancas e Andrelândia. **Anais do Segundo Simpósio de Geologia de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1983

_____ - Metodologia e Problemas no Estudo do Pré-Cambriano no Sul de Minas Gerais. **Anais do III Simpósio de Geologia de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1985.

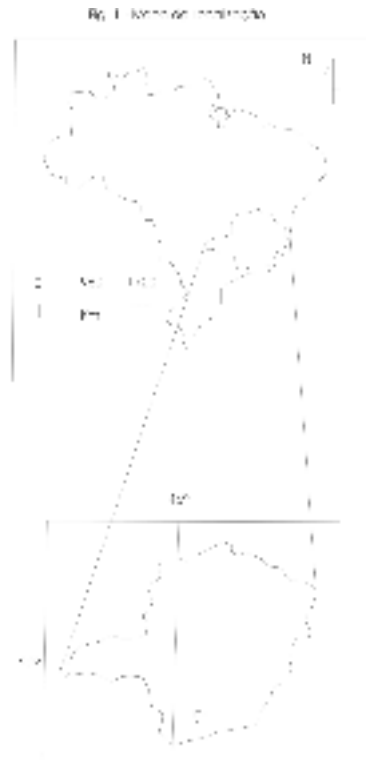


Fig. 2 - A mineração em perspectiva sistêmica

