

## Análise morfométrica e ambiental da microbacia hidrográfica do rio Granjeiro, Crato/CE

(Morphometric and environmental analyses of the Granjeiro river micro basin, Crato/ CE)

Raimundo Teixeira Lima Neto

Graduado. Tecnólogo em Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia CENTEC - Unidade Cariri. E-mail: tedvadioacopis@hotmail.com

Luiz Alberto Ribeiro Mendonça

Dr., Professor Adjunto do Curso de Engenharia Civil da UFC - Campus Cariri. E-mail: larm@ufc.br

José de Araujo Pereira

MSc., Professor do CEFET/CE - Unidade Juazeiro do Norte. E-mail: araujo@cefet-ce.br

Claire Anne Viana de Sousa

MSc., Geóloga da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH - Crato) E-mail: claireviana@yahoo.com.br

José Yarley de Brito Gonçalves

Graduado. Geólogo da COGERH - Crato E-mail: larm@ufc.br

Horst Frischkorn

Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC E-mail: cariri@ufc.br

### Resumo

As ações antrópicas na microbacia hidrográfica do rio Granjeiro, município do Crato, Ceará, estão levando a excessivo escoamento superficial, que produz assoreamento dos cursos d'água e enchentes nos bairros por onde o rio passa. Nesse trabalho, objetivou-se entender os impactos ambientais no comportamento hidrológico da área através: (i) da caracterização morfométrica da microbacia do rio Granjeiro e de duas microbacias adjacentes, (ii) da comparação dos parâmetros morfométricos das três microbacias, (iii) da avaliação ambiental da microbacia do rio Granjeiro, e (iv) da correlação dos impactos ambientais avaliados com os parâmetros morfométricos. A caracterização morfométrica foi feita através de parâmetros que caracterizam a forma da bacia, o sistema de drenagem e o relevo. A avaliação ambiental foi feita a partir de um diagnóstico da área. Constatou-se, pela morfometria, que a microbacia do rio Granjeiro deveria ser a menos propensa a cheias, mas os problemas ambientais por ações antrópicas contribuem com a inversão do quadro. Para minimizar os impactos ambientais, são sugeridas ações através de medidas estruturais e não-estruturais, compatíveis com a realidade sócio-ambiental local.

**Palavras-chave:** Análise morfométrica, rio Granjeiro, impactos ambientais.

### Abstract

*Human activity in the micro basin of Granjeiro river, in the township of Crato/ Cariri, Ceará causes excessive runoff, producing sediment deposition in watercourses and causing floods along the river. In this investigation we try to understand the environmental impacts on the hydrology of the area through: (i) a morphometric characterization of the Granjeiro river micro basin and two adjacent ones, (ii) a comparison of the morphometric parameters for the three micro basins, (iii) an environmental evaluation of the Granjeiro micro basin and (iv) a correlation of environmental impacts and morphometric parameters. Morphometric characterization is made through parameters that describe the geometry of the basin, its drainage system and its relief. Environmental evaluation is based on the spot diagnoses. According to morphometry, the Granjeiro micro basin should be less floods prone than the outhter two. However, antropic environmental problems invert this order transferring a higher incidence of floods to the first. In order to minimize environmental impacts, actions through structural and non-structural measures, in accordance with social-environmental local reality, are proposed.*

**Keywords:** Morphometric analysis, Granjeiro river, environmental impacts.

## 1. Introdução

O rio Granjeiro é o rio principal da microbacia 03 da sub-bacia hidrográfica do rio Salgado, que drena parte do município do Crato/ CE e é afluente do rio Jaguaribe (COGERH, 1999). Ele nasce na encosta da Chapada do Araripe (com declividade elevada, >70%) e possui talvegue de 8,0 a 0,1% (IBGE, 1999).

No topo da chapada aflora a formação geológica Exu, composta, basicamente, de arenitos quartzosos, em geral caulínicos. Nas três microbacias analisadas, essa área é protegida na Floresta Nacional do Araripe. Na encosta da chapada, sotopostas à formação Exu, de cima para baixo, afloram as formações Arajara e Santana. A primeira composta, basicamente, de arenitos finos, siltitos e argilitos e a segunda, por calcário, gipsita e folhelhos. No Vale do Cariri, sotoposto à formação Santana, aflora a formação Rio da Batateira, composta, basicamente, por arenitos com intercalações de lentes de argila e folhelhos. Ainda no vale, encontram-se os sedimentos aluviais (DNPM, 1996).

Na região, as chuvas são distribuídas, principalmente, entre uma pré-estação e uma estação chuvosa. A pré-estação, de dezembro a janeiro, contribui com 23% da precipitação anual e a estação chuvosa, de fevereiro a maio, com 62% (INMET, 1993).

Na sub-bacia do rio Salgado, os rios e riachos são intermitentes, mas, em alguns lugares, são perenizados por nascentes na encosta da Chapada do Araripe, ou, ainda, por águas superficiais armazenadas em açudes.

Para entender os impactos ambientais ocorridos na microbacia hidrográfica do rio Granjeiro, serão feitas uma caracterização morfométrica e uma avaliação ambiental. Através da morfometria, serão obtidos índices quantitativos, os quais auxiliarão nos estudos hidrológicos da microbacia hidrográfica e no entendimento dos impactos ambientais verificados. Serão, também, determinados os parâmetros morfométricos de duas microbacias adjacentes para fins comparativos.

Christofoletti (1970) ressalta que análises morfométricas relacionadas à drenagem, ao relevo e à geologia podem levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local. No entanto, é importante frisar que os índices determinados na análise morfométrica, isoladamente, não são capazes de simplificar a complexa dinâmica de uma bacia hidrográfica, que tem forte variação temporal.

## 2. Material e método

### 2.1 Área de trabalho

A Figura 1 mostra as microbacias hidrográficas dos rios Granjeiro (com declividade principal a sudoeste), Batateira (a noroeste do rio Granjeiro) e Saco (a sudeste do rio Granjeiro), no município do Crato, sul do Estado do Ceará, localizadas entre as coordenadas 7° 10' 44" e 7° 17' 57" de latitude sul e 39° 29' 42" e 39° 21' 31" de longitude oeste de Greenwich.

Segundo o IPECE (2007), na encosta da Chapada, o clima é do tipo tropical

quente subúmido e, no vale, do tipo tropical quente semi-árido brando, com precipitação média anual de, aproximadamente, 1.090 mm.

Nessa área, encontram-se, principalmente, solos dos tipos aluviais, latossolos vermelho-amarelo e podzólico vermelho-amarelo.

### 2.2 Parâmetros morfométricos

Maiores detalhes sobre a metodologia adotada nesse trabalho encontram-se na literatura especializada de Villela e Mattos (1975), Lima (1986) e Silva et alii (2004).

Os dados utilizados no cálculo dos parâmetros morfométricos das três microbacias hidrográficas, como a delimitação dos divisores de águas, os perímetros, as áreas de drenagem e o comprimento total dos cursos d'água, foram feitos com uso do aplicativo AutoCad a partir do mapa georreferenciado da área na escala 1:70.000.

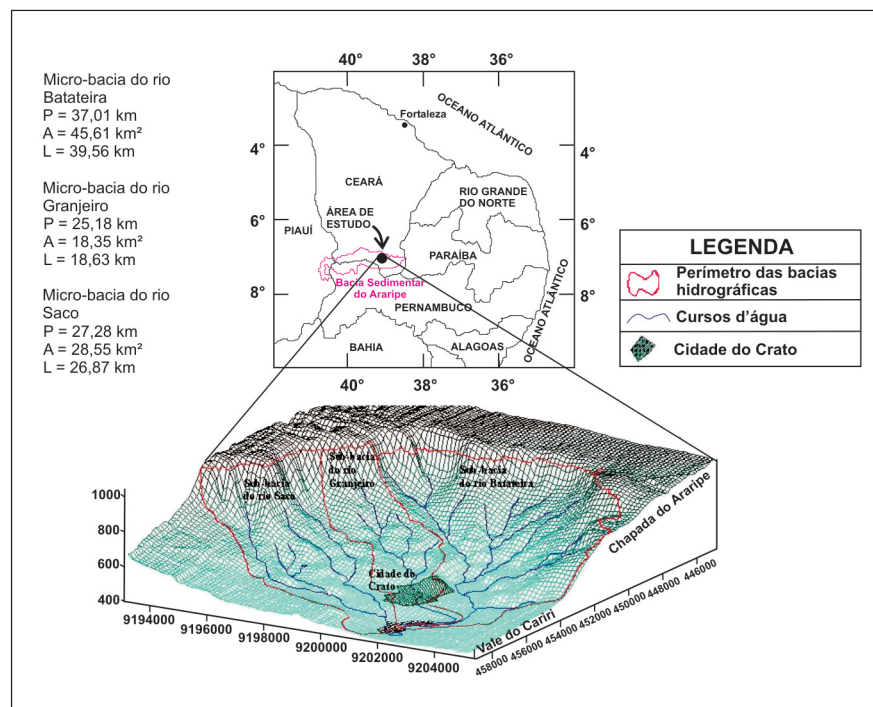


Figura 1 - Localização da área de trabalho (P: perímetro, A: área, L: comprimento total dos cursos d'água).

### 2.2.1 Forma da bacia

Esse parâmetro é um dos mais difíceis de expressar em termos quantitativos, podendo ser representado pelos índices:

- Coeficiente de compacidade (Kc): determinado através da razão entre perímetro da bacia (P) e o de um círculo de área igual a da bacia ( $2\sqrt{\pi A}$ ), dado pela expressão  $Kc = 0,28(P/\sqrt{A})$ , onde P e A são, respectivamente, o perímetro (em km) e a área da bacia (em km<sup>2</sup>).
- Fator de forma (Ff): determinado através da razão entre a largura média da bacia ( $\bar{L}$ ) e o comprimento axial do curso d'água (L); a largura média é obtida pela divisão da área por L, que é obtido medindo-se o curso d'água mais longo, desde a cabeceira mais distante até o exutório.

### 2.2.2 Sistema de drenagem

Segundo Horton (1945) e Strahler (1957), as características de uma rede de drenagem podem ser descritas pelos índices:

- Razão de bifurcação (Rb): determinado com base na ordem dos cursos d'água (u) e na contagem das mesmas (Nu), a partir da construção do gráfico Nu x u, de onde obtém-se a reta de correlação  $Nu = a + bu$ , da qual define-se a razão de bifurcação  $Rb = b = \Delta Nu / \Delta u$ .

- Densidade de drenagem (Dd): determinada pela razão entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia ( $\sum l_i$ ), sejam eles intermitentes ou perenes, e a área total da mesma (A).

### 2.2.3 Relevo da bacia

As características do relevo de uma bacia podem ser avaliadas através das declividades médias:

- Da bacia ( $\bar{D}$ ): determinada através do método das quadrículas, que consiste em lançar uma malha quadriculada sobre o mapa topográfico da bacia, com os pontos de interseção das linhas assinalados; em cada ponto, a partir das curvas de níveis, determina-se uma declividade; após a determinação da declividade dos pontos, constrói-se uma tabela de distribuição de frequência, tomando-se uma amplitude para as classes, de onde se calcula a declividade média da bacia.
- Do rio principal ( $\bar{d}$ ): obtida através da média harmônica ponderada da raiz quadrada das declividades dos diversos trechos retilíneos, tomando-se como peso a extensão de cada trecho,  $\bar{d} = \left[ \sum l_i / \sum (l_i / \sqrt{d_i}) \right]^2$ , onde  $l$  é a extensão de cada trecho do rio e  $d_p$  a declividades dos diversos trechos retilíneos.

## 3. Avaliação ambiental

A avaliação ambiental da microbacia hidrográfica do rio Granjeiro foi feita a partir da identificação, em campo, dos impactos ambientais e de suas causas.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Parâmetros morfométricos

A Figura 1 mostra a delimitação das microbacias dos rios Granjeiro, Batateira e Saco, com seus respectivos perímetros, áreas e comprimentos dos cursos d'água. A Tabela 1 mostra a síntese dos parâmetros morfométricos obtidos para as três microbacias analisadas.

Quanto à forma das bacias, apesar de os coeficientes de compacidade (Kc) estarem muito próximos (1,65 para a microbacia do rio Granjeiro; 1,53 para a do rio Batateira; 1,43 para a do rio Saco), esses valores associados ao fator de forma (Ff) indicam que a microbacia do rio Granjeiro é a mais irregular quanto à forma (maior Kc) e a mais estreita e alongada (menor Ff) entre as três microbacias, indicando que há menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda área.

Quanto ao sistema de drenagem, as densidades de drenagem (Dd) indicam que as três microbacias são medianamente drenadas ( $0,5 \text{ km}^2 < Dd < 3,0 \text{ km}^2/\text{km}^2$ , segundo Vilela & Mattos, 1975).

**Tabela 1** - Síntese dos parâmetros morfométricos obtidos para as microbacias dos rios Granjeiro, Batateira e Saco. (Kc: coeficiente de compacidade, Ff: fator de forma, Dd: densidade de drenagem, Rb: razão de bifurcação,  $\bar{D}$ : declividade média da microbacia e  $\bar{d}$ : declividade média do rio principal).

Microbacia	Forma		Sistema de drenagem		Relevo	
	Kc	Ff	Dd	Rb	$\bar{D}$ (m/m)	$\bar{d}$ (m/m)
Rio Granjeiro	1,65	0,1	1,02	-1,0	0,0679	0,0141
Rio Batateira	1,53	0,2	0,85	-4,0	0,1076	0,0062
Rio Saco	1,43	0,3	0,94	-2,5	0,1068	0,015



Apesar de os valores de  $Dd$  estarem muito próximos e dentro do intervalo proposto para bacias medianamente drenadas ( $1,02 \text{ km/km}^2$  para a microbacia do rio Granjeiro;  $0,85 \text{ km/km}^2$  para a do rio Batateira;  $0,94 \text{ km/km}^2$  para a do rio Saco), esses valores, associados aos da razão de bifurcação ( $Rb$ ), indicam que a microbacia do rio Granjeiro é a menos propensa a cheias entre as três por possuir maior  $Rb$ .

Quanto ao relevo das bacias, a microbacia do rio Granjeiro possui menor declividade média ( $\bar{D}$ ) entre as três, indicando que a mesma deveria apresentar escoamento superficial mais lento e maior tempo de concentração. Essa condição indica que os tributários conduzirão água para o rio principal de forma mais lenta. Esse maior tempo de concentração deveria contribuir também com uma maior infiltração nos arenitos da formação Rio da Batateira, que compõem a geologia da bacia no vale, bem como com a evaporação, contribuindo com uma menor chegada de água por escoamento superficial ao rio Granjeiro, que é o principal.

Com relação à declividade média do rio principal ( $\bar{d}$ ), entre os quatro rios analisados, o rio Granjeiro possui  $0,0141 \text{ m/m}$ , valor muito próximo da declividade do rio Saco que é de  $0,0150 \text{ m/m}$ . Isto indica que o rio Granjeiro deve conduzir água com maior velocidade que, por exemplo, o rio Batateira, que possui declividade média de  $0,0062 \text{ m/m}$ . Mas, como os tributários do rio Granjeiro contribuem lentamente para ele, esse efeito deveria ser minimizado.

Com base nessa análise, pode-se observar que a microbacia do rio Granjeiro deveria ser a menos propensa a cheias. Mas os problemas identificados na avaliação ambiental contribuem com a inversão do quadro, tornando-a mais propensa a cheias.

## 4.2 Avaliação ambiental

A identificação dos problemas ambientais e a determinação de suas cau-

sas, citadas a seguir, corroboram com os problemas citados por Sousa et alii (2006).

Identificação dos problemas ambientais:

- Ocupação irregular nas áreas de preservação permanente nas proximidades da encosta da Chapada (Figura 2a).
- Desmatamento na encosta da Chapada e retirada da mata ciliar ao longo dos rios e riachos, causando deslizamentos e assoreamento dos cursos d'água.
- Impermeabilização nos interflúvios devido à urbanização crescente (Figura 2b), reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial, muitas vezes tornando trágica a quadra chuvosa da região, que vai de fevereiro a maio (Figura 2d).
- Impermeabilização da área de inundação do rio Granjeiro na zona urbana, onde o rio encontra-se contido

num canal de concreto estreito, com elevado risco de extravasamento (Figura 2c).

- Lançamento de esgotos e a disposição inadequada de resíduos sólidos dentro do canal, causando poluição das águas e poluição visual (o lançamento de esgotos residenciais no canal do rio Granjeiro chegou a produzir uma voçoroca, conhecida como vulcãozinho (Ribeiro & Guerra, 2003)).
- Incompatibilidade da atual situação do canal do rio Granjeiro com a realidade ambiental invariável (as mudanças bruscas na declividade dos talvegues do rio Granjeiro e seus afluentes, considerados de alta declividade nas nascentes da encosta da serra e baixa declividade no Vale do Cariri).
- Existência de um canal conhecido como Levada do Lameiro, que transpõe parte das águas da fonte Bata-

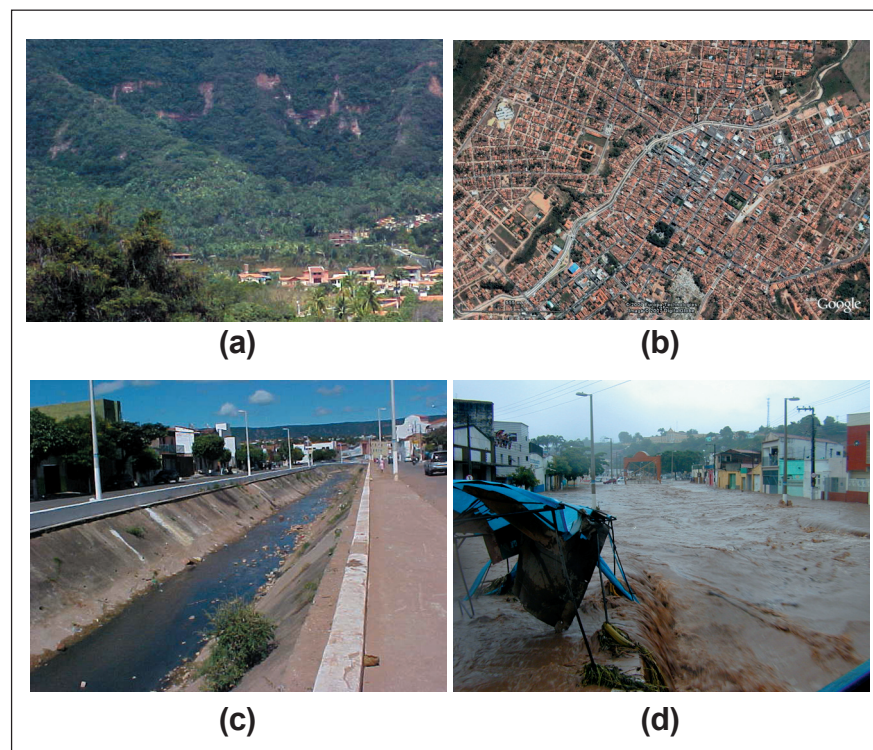


Figura 2 - Ocupação irregular nas áreas de preservação permanente (a), impermeabilização dos interflúvios devido à urbanização crescente (b), rio Granjeiro contido num canal de concreto estreito (c) e quadra chuvosa trágica (d).

teira, localizada na microbacia vizinha, e que, durante o período chuvoso, também faz transferência de cheias para o rio Granjeiro. A capacidade máxima do canal é de 163 m<sup>3</sup>/h. Durante o período seco, a vazão liberada para irrigação é de, aproximadamente, 35 m<sup>3</sup>/h. No período chuvoso, essa vazão é acrescida do escoamento superficial, podendo atingir a capacidade máxima. Mas, como não há monitoramento do canal, por parte dos usuários, ele é gradativamente obstruído pelo transporte de sedimentos. Assim, dependendo do grau de obstrução e da intensidade da chuva, ele pode contribuir com significativa vazão.

Determinação das causas dos problemas ambientais identificados:

- Plano diretor urbano incompatível com a hidrologia e hidráulica da microbacia.
- Urbanizações progressivas, feitas sem planejamentos e disciplinamento do uso e ocupação do solo, ocupando com quase totalidade a microbacia do rio Granjeiro.
- Ocorrência de vazões de pico extraordinárias, acima do valor máximo considerado para a capacidade das obras de drenagem.
- Falta de órgão gestor e coordenador para a drenagem urbana.
- Falta de conscientização da população com o problema de drenagem e com o lançamento de esgotos e resíduos sólidos nos rios, riachos, galerias e canais.
- Falta de investimento, tanto no planejamento, como na execução de manutenção de obras civis.
- Ocupação irregular do solo, sem um programa de controle de erosão.
- Falta de controle e fiscalização de áreas ocupadas e de obras irregulares.

Para uma melhor avaliação das condições ambientais da área, deve-se fazer um diagnóstico sócio-ambiental que contemple os impactos ambientais de forma

mais detalhada; as condições socioeconômicas da população; a qualidade da água; as características da flora e fauna; entre outras. Esse detalhamento resultará num diagnóstico integral mais amplo, que possibilite a geração de um banco de dados para determinar, não só os fatores naturais, mas, também, os fatores sócio-ambientais que contribuem para degradação da área. Esse diagnóstico deverá incluir as demais microbacias que não apresentaram cheias no baixo curso, mas que englobam parte da zona urbana.

## 5. Agradecimentos

À Faculdade de Tecnologia CENTEC - unidade do Cariri e à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH), pelo acolhimento e incentivo na elaboração desse trabalho.

## 6. Referências bibliográficas

- CHRISTOFOLETTI, A. *Análise morfológica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas*. Rio Claro: Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, 1970. 375f. (Tese de Livre Docência).
- COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. *Plano de gerenciamento das águas da bacia do rio Jaguaribe*. Fortaleza: 1999. CD-ROM.
- DNPM. *Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe*. Recife: DNPM, 1996. 103p.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, New York, v. 56, p. 807-813, 1945.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jaguaribe: diretrizes gerais para a ordenação territorial*. Luiz Carlos Soares Gatto (Supervisor). Salvador: IBGE, Diretoria de Geociências e 1<sup>a</sup> Divisão de Geociências do Nordeste - DIGEO 1/NE.1, 1999. 77p.

INMET. *Normas climatológicas, 1961 - 1990*. Brasília: INMET, 1993.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. *Perfil Básico Municipal*, 2004. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>>. Acesso: Maio/2007.

LIMA, W. P. *Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas*. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), 1986. 242 p. (Texto básico para a disciplina "Manejo de Bacias Hidrográficas").

RIBEIRO, S. C., GUERRA, A. J. T. Fatores sócio-ambientais na aceleração de processos erosivos em áreas urbanas: o bairro Seminário, Crato/CE. *Revista do Departamento de Geografia - GEO UERJ*, número especial, p. 1827-1829, 2003.

SILVA, A. M. et alii. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: RIMA, 2004. 140p.

SOUSA, C. A. V. et alii. Análise preliminar de riscos ambientais devido a expansão urbana na microbacia hidrográfica do rio Granjeiro no município do Crato - CE. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8. Fortaleza. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 2006.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union*, Transactions, v. 38, p. 913-920, 1957.

VILLELA, S. M., MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

**Artigo recebido em 24/05/2007 e aprovado em 14/05/2008.**