

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DETERIORAÇÃO FÍSICO-CONSERVACIONISTA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CANOAS

Silvio Luís Rafaeli Neto(*), Guilherme da Silva Ricardo 1, Mariana Tedesco 2.

* Professor do Departamento de Engenharia Ambiental no Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC – silvio.rafaeli@udesc.br

RESUMO

O planejamento territorial baseado em bacia hidrográfica como unidade de gestão tem se manifestado em estudos em diferentes regiões. Destaca-se a bacia hidrográfica do Rio Canoas, na região serrana de Santa Catarina, por ser a maior bacia do estado e detentora de uma riqueza ambiental e de recursos hídricos singulares. A carência de informações a cerca desta bacia foi a motivação para a realização deste trabalho. O objetivo é determinar o Índice de Deterioração Físico-Conservacionista (IDFC), obtido pelo método do Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC), utilizado para avaliar a qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Alto Canoas (BHAC). O DFC apresentado neste trabalho é parte de um processo que visa construir um plano de ações de médio e longo prazo, a ser proposto no âmbito do Plano de Bacia a fim de conduzir um efetivo processo de gestão territorial, com reflexos no meio ambiente e qualidade de vida de sua população. A bacia do Rio Canoas esta setorizada em 5 regiões topograficamente semelhantes. Este artigo se refere ao setor 1 denominado Alto Canoas. De acordo com a metodologia a área de estudo foi submetida à estratégia de setorização, o que produziu 2 sub-setores. O critério utilizado para setorização foi o altimétrico, por permitir distinguir os sub-setores em suas características físicas, sociais e ambientais. Para cada sub-setor, o uso e ocupação do solo, os parâmetros morfométricos, e os parâmetros da rede de drenagem, foram determinados com o apoio de recursos tecnológicos de sensoriamento remoto e geoprocessamento. O diagnóstico sócio-econômico e ambiental também fizeram parte do estudo. Dessa forma, o IDFC resultou da análise global das informações levantadas. Com isso concluiu-se que o sub-setor 1 localizado na região de vale da bacia, apresenta maior degradação ambiental em diversos aspectos em relação ao sub-setor 2, situado em topos de morros e encostas. Um dos indicadores mais pronunciados foi o grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e atual (COA). Este parâmetro do DFC apontou um grau de semelhança de 29% (Baixa Semelhança) para o sub-setor 1, e 77,62% (Semelhante) para o sub-setor 2. Dessa forma, identificado os conflitos do uso indevido dos recursos naturais nos sub-setores, entende-se que para obter maior eficiência nas ações de gerenciamento dos recursos naturais, os órgãos responsáveis devem se manifestar de forma distinta para cada um dos sub-setores da bacia do Alto Canoas.

PALAVRAS-CHAVE: Diagnóstico Físico-Conservacionista, Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas, Diagnóstico Ambiental, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto.

INTRODUÇÃO

A Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas (GIBH) pode ser aplicada na gestão do uso da terra, como meio de minimizar os impactos das atividades humanas no meio ambiente. Utilizar a bacia hidrográfica como unidade de gestão ainda representa um desafio, uma vez que as comunidades não costumam se identificar com este recorte espacial. Identificam-se com unidades administrativas, como bairro, cidade, estado ou nação, mas dificilmente se encontram comunidades identificadas com uma área de contribuição hidrológica, na qual se integram os agentes e eventos naturais ou humanos. Uma bacia hidrográfica é definida por uma área de contribuição, delimitada por divisores topográficos e drenada por um sistema interconectado de cursos d'água (VILLELA e MATTOS, 1975).

Associar o conceito de bacia hidrográfica ao conceito de sistema é uma abordagem útil para viabilizar a GIBH. Segundo Rafaeli Neto (2000), sistema é um conjunto de componentes que interagem para um determinado fim. Um sistema geográfico é uma estrutura em que alguns ou todos os seus componentes se expressam espacialmente, realizam comportamentos e produzem resultados. Esta ideia implica em considerar que os componentes estão interligados de alguma forma, e que as ações de um componente podem refletir nos demais.

A ausência de gestão destas ações pode ser atribuída como uma das principais causas dos impactos ambientais negativos em uma bacia. A intensidade, frequência e espacialização dos impactos ambientais colocam a unidade de gestão numa condição de degradação, cuja determinação pode ser onerosa em termos financeiros e de tempo. O nível de deterioração ambiental pode ser determinado objetivamente pela aplicação de metodologias simplificadas, baseadas em

dados secundários. O valor deste tipo de análise pode ser medido pela carência de informações de grande parte do território brasileiro, o que inclui a bacia do Rio Canoas, no Planalto Serrano de Santa Catarina. (Figura 1).

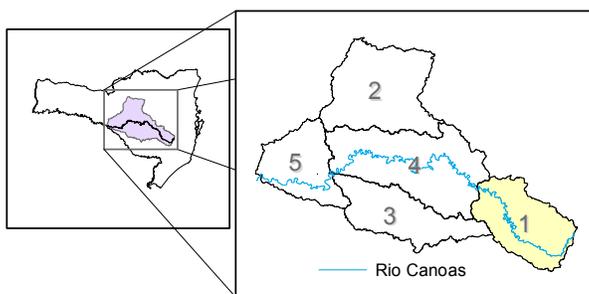


Figura 1 - Situação do setor 1 (Alto Canoas) na bacia hidrográfica do Rio Canoas.

O DFC visa contribuir para a utilização racional e sustentável dos recursos naturais pelo estudo das características físicas do solo, do diagnóstico da situação atual da bacia em termos de sua ocupação e da formulação de medidas capazes de corrigir eventual desequilíbrio ambiental entre a utilização atual e seu potencial. (DAS NEVES, 2012). Este trabalho teve por objetivo estudar a bacia hidrográfica do Alto Canoas, localizada no Planalto Serrano de Santa Catarina, em suas caracterizações geo-espaciais, físicas e sócio-ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

A primeira etapa do trabalho foi o reconhecimento *in loco* da área de estudo, com o objetivo de avaliar o uso e ocupação do solo em diferentes locais, desde o exutório até as áreas mais altas, onde se encontram algumas nascentes. Observou-se que as características físicas, sociais e ambientais da bacia estão diretamente associadas ao relevo. A partir desta constatação, decidiu-se pela setorização da bacia em dois sub-setores.

A setorização é uma estratégia para o melhor gerenciamento dos recursos naturais, uma vez que há uma redução significativa da área a ser gerida. Dessa forma, fica implícito que numa área menor tende a ser mais fácil a aplicação de ações voltadas para o controle, gestão e preservação do ambiente natural.

A setorização da bacia teve como critério de delimitação uma determinada cota topográfica que dividiu o vale das montanhas. Como consequência, os sub-setores não apresentaram conformação geomorfológica compatível com bacia hidrográfica, mas sim, conforme o delineamento da curva de nível utilizada para fatiamento e delimitação.

As determinações paramétricas deste trabalho foram de duas categorias: a) parametrização da bacia do Alto Canoas, b) parametrização dos sub-setores.

Parametrização da bacia do Alto Canoas

A bacia do Alto Canoas foi parametrizada por indicadores morfométricos obtidos do geoprocessamento do Modelo Digital de Terreno (MDT) (SANTA CATARINA, 2014), com resolução espacial de 30 metros. Os parâmetros determinados foram: Área, Perímetro, Comprimento da Bacia, Largura Média da Bacia, Cotas Altimétricas, Relevo Total, Fator de Forma e Coeficiente de Compacidade. Os parâmetros da rede de drenagem, extraída do MDT, foram: Relação de Bifurcação, Densidade de Drenagem, e Comprimento do Canal Principal.

Parametrização dos sub-setores

Os sub-setores foram avaliados pelo uso e ocupação do solo, Estado Físico-Conservacionista, situação sócio-econômica e situação ambiental.

Para o mapa de uso e ocupação do solo utilizou-se a padronização das classes de Uso e Ocupação do Solo segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, definida pela Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, publicada no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Na classificação foi usada imagem de satélite LANDSAT-TM 8 do dia 07/02/2014, com resolução espacial de 30 metros nas bandas 3,4,5, processadas no aplicativo *ENVI* 4.1. As classes utilizadas no uso e ocupação do solo da bacia foram Água, Área campestre, Área Florestal, Área Urbanizada, Cultura Permanente, Cultura Temporária, Pastagem, Silvicultura, e Solo Exposto conforme IBGE (2013).

Os 7 parâmetros que integram o Estado Físico-Conservacionista (Equação 1), aliados ao Diagnóstico Sócio Econômico (DSE) e o Diagnóstico Ambiental (DA) foram aplicados em cada sub-setor. Os parâmetros de Ef são:

Semelhança entre a Cobertura Vegetal Original e Atual (COa); Proteção da Cobertura Vegetal Atual do Solo (CAb); Declividade Média (DMc); Erosividade da Chuva (Ed); Potencial Erosivo do Solo (PEe); Densidade de Drenagem (DDf) e o Balanço Hídrico (BHg). (Equação 1). Os índices a, b,..g são os valores que cada parâmetro assume, dentro de uma faixa de variação dada por tabelas próprias de cada parâmetro.

$$DFC = CO_a + CA_b + DM_c + Ed + PE_e + DD_f + BH_g \quad \text{Equação (1)}$$

A Cobertura Vegetal Original e Atual (COa) relaciona a cobertura vegetal original, presente antes da intervenção humana, com a atual vegetação na área. Para fins da determinação da COa dos sub-setores, estipulou-se a vegetação original como sendo a área total de cada sub-setor, exceto a parte ocupada pela água nos canais hidrográficos. A cobertura vegetal original foi considerada como sendo *Floresta Ombrófila Mista Montana*, conforme descrito em Pimenta et al. (1991).

Tabela 1 - Grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e atual, índices e níveis de semelhanças.

Grau de semelhança	Índice	Níveis
81 – 100%	CO1	Altamente semelhante
61 – 80%	CO2	Semelhante
41 – 60%	CO3	Mediamente semelhante
21 – 40%	CO4	Baixa semelhança
01 – 20%	CO5	Nenhuma semelhança

Fonte: Das Neves (2012) adaptado de MARNR (1978)

O parâmetro Proteção da Cobertura Vegetal Atual do Solo (CAb) é variável de acordo com o tipo de uso da superfície, pois a proteção do solo depende do tipo e estado da cobertura vegetal. O índice CA de cada sub-setor foi definida com base no mapa de uso e ocupação do solo.

Tabela 2 - Índices de proteção total da vegetação a partir do mapa de uso e cobertura do solo.

Índice de proteção total	Símbolo
1	CA ₁
0,8 – 0,99	CA ₂
0,6 – 0,79	CA ₃
0,4 – 0,59	CA ₄
0,2 – 0,39	CA ₅
0	CA ₆

Fonte: Das Neves (2012), adaptado de Beltrame (1994)

A Declividade Média (DMc) refere-se as características do relevo obtida pela equação 2 que relaciona as variáveis, comprimento total das curvas de nível (L) em (km), a equidistância ou desnível entre as curvas de nível (DN) em (km), e área da bacia (A) em (km²), todas as variáveis foram obtidas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) por meio do aplicativo *ArcGis* 10.1. O método interpretou os valores e classificou a DMc conforme tabela 3.

$$DM_c = \frac{L \cdot DN}{A} \quad \text{Equação (2)}$$

Tabela 3 - Classes de declividade, relevo e índices a partir da declividade média.

Declividades	Relevo	Índices
0 – 5%	Plano	DM1
5 – 12%	Ondulação suave	DM2
12 -26%	Ondulado	DM3
26 – 45%	Ondulação moderada	DM4
>45%	Ondulação forte	DM5

Fonte: Das Neves (2012), adaptado de DE BIASI (1992)

A Erosividade da Chuva (E_d) é um parâmetro referente ao clima e corresponde à capacidade potencial das chuvas em provocar erosão em um solo desprotegido. Para determinar a erosividade da chuva utilizaram-se as precipitações médias mensais (mm), ponderadas em cada sub-setor, a partir das estações pluviométricas Anitápolis, Lomba alta, Urubici, Vila Canoas e Bocaina do Sul, no período entre 1985 e 2000, obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA). O fator de ponderação foi a área de cada estação definida pelo método dos Polígonos de Thiessen. Este método delimita áreas de domínio de uma estação pluviométrica. Considera-se que no interior dessas áreas a altura pluviométrica é a mesma do respectivo posto.

O fator E_d foi classificado a partir das equações 3 e 4. As variáveis utilizadas no cálculo foram a erosividade média (E_i) de cada mês do ano (ou índice de erosão médio mensal) válida no período da série histórica de chuvas (E_i) em (ton/ha.mm/ha), a precipitação média (p_i) do i -ésimo mês, obtida no período da série e a precipitação total média no ano em (P) em (mm).

$$E_i = 6.886 \left(\frac{p_i^2}{P} \right)^{0,85} \quad \text{Equação (3)}$$

$$P = \sum_{i=1}^{12} P_i \quad \text{Equação (4)}$$

Consideraram-se chuvas erosivas aquelas com quantidade igual ou superior a 10 mm ou igual ou superior a 6 mm em um período máximo de 15 minutos, pois os índices de erosividade variam nos estados da federação, devido a consideração dos índices máximos e mínimos de precipitação de cada estado. Os índices de erosividade utilizados no método DFC para interpretar os valores e classificar a DMC foram os do estado de Santa Catarina observados na tabela 4.

Tabela 4 - Índices de erosividade, qualificação e simbologia para o estado de Santa Catarina.

Índices de erosividade (t/ha.mm/h)	Qualificação da erosividade	Símbolo
<599,04	Débil	E1
599,05 a 675,48	Média	E2
675,49 a 751,91	Forte	E3
751,92 a 828,33	Muito forte	E4
>828,33	Excessiva	E5

Fonte: Beltrame (1994) apud Carvalho (2004)

O Potencial Erosivo do Solo (PEe) é um parâmetro relacionado à suscetibilidade do solo à erosão hídrica. A erosão é um processo natural de evolução da paisagem; entretanto, a velocidade deste processo varia com a suscetibilidade dos solos a erosão, decorrentes de fatores naturais como a erosividade da chuva, as propriedades do solo como a textura, densidade, porosidade, teor de matéria orgânica e cobertura vegetal, as características do relevo, bem como as formas de uso e ocupação do solo. Portanto, o potencial erosivo do solo está associado a declividade, ao tipo e ao uso e cobertura do solo. Em uma visão geral, as principais causas da erosão acelerada são o desmatamento, o cultivo inadequado das terras, a abertura de estradas e a ocupação urbana. Conseqüentemente, ocorre a desestruturação das terras agrícolas, o assoreamento de cursos d'água e reservatórios. (DAS NEVES, 2012).

Para a determinação deste parâmetro utilizaram-se mapa de solo, em escala 1:250.000 (EMBRAPA, 2004), e mapas de classes de declividades geradas a partir do MDT em escala 1:100.000. Os mapas foram sobrepostos para gerar as áreas de cada classe de uso e ocupação do solo com potenciais de erosividade (Figura 2).

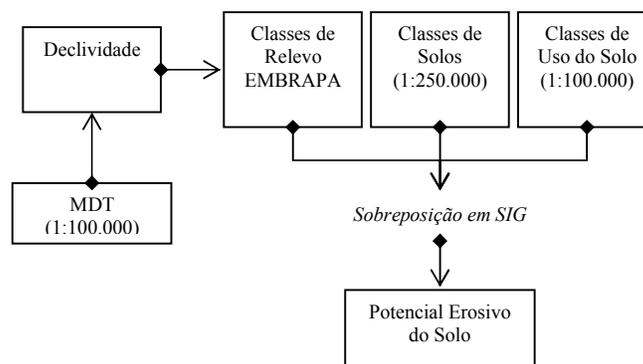


Figura 2 – Workflow para determinação do potencial erosivo do solo.

A determinação deste parâmetro apresenta inconsistência em inter-relacionar mapas de escalas distintas, pois o mapa de solos está na escala 1:250.000 e o de declividade está na escala 1:100.000. Este problema é recorrente no Brasil, uma vez que o país não conta com um mapeamento de solos mais detalhado.

O índice do potencial erosivo de cada sub-setor foi classificado de acordo com a tabela 5.

Tabela 5 - Potencial erosivo, índices do potencial erosivo e seus respectivos símbolos.

Potencial erosivo	Índice do potencial erosivo	Símbolo
Baixo	0,0 – 0,21	PE1
Moderado	0,21 – 0,4	PE2
Moderado a alto	0,41 – 0,6	PE3
Alto	0,61 – 0,8	PE4
Muito alto	0,81 – 1,0	PE5

Fonte: Das Neves (2012) adaptado de Salomão (2007)

Para o parâmetro Densidade de Drenagem (DDf) é a relação entre o comprimento total (Lt) de todos os cursos de água em (km) e a área total da bacia (A) em (km²). (Equação 5). Este índice aponta para a capacidade de escoamento hídrico da bacia.

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad \text{Equação (5)}$$

Tabela 6 - Qualificação e simbologia dos valores de densidade de drenagem.

Valores da densidade de drenagem	Qualificação da densidade de drenagem	Símbolo
< 0,5	Baixa	DD1
0,5 – 2,00	Mediana	DD2
2,00 – 3,50	Alta	DD3
>3,50	Muito alta	DD4

Fonte: Das Neves (2012), adaptado de Beltrame (1994)

O Balanço Hídrico (BHg) relaciona as principais entradas e saída de água da área em estudo. (Equação 6). Na análise do DFC, o balanço hídrico é fundamental, tendo em vista que é considerado um indicador potencial natural de degradação e/ou conservação física da bacia (Das Neves, 2012).

$$P - ETP = \pm \Delta S \quad \text{Equação (6)}$$

Na Equação 6, P é a precipitação total mensal, ETP a evapotranspiração potencial média mensal e ΔS o saldo mensal de armazenamento. Este balanço considera que o saldo mensal fica armazenado na bacia. O método de balanço de massa pode ser visto em Das Neves (2012). O balanço é realizado a partir de uma série histórica de precipitação diária e temperaturas máxima e mínima diárias. A partir das séries diárias, calculam-se os valores mensais. A temperatura média diária origina a temperatura média mensal. (Equação 7).

$$t = (TM + tm) / 2 \quad \text{Equação (7)}$$

Onde TM é a temperatura máxima diária e tm a temperatura mínima diária.

A evapotranspiração potencial média foi calculada pelo método de Thornthwaite. (Equação 8).

$$ETP_j = f_j \cdot 1,6 \left(\frac{t_j}{I} \right)^\alpha \quad \text{Equação (8)}$$

Na qual:

- ETP_j = evapotranspiração média mensal (mm/dia) do j-ésimo mês;
- t_j : temperatura média mensal (°C) do j-ésimo mês;
- f_j : comprimento médio dos dias do j-ésimo
- I : Índice de Eficiência de Temperatura Anual
- $\alpha = 6,7E \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 0,0179 \times I - 0,492$

mês;
O Índice de Eficiência de Temperatura Anual é dado pela Equação 9.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Equação (9)}$$

Em que i é o índice de calor mensal, calculado pela Equação 10.

$$i = \left(\frac{t_i}{5}\right)^{1,514} \quad \text{Equação (10)}$$

Sendo que t_i é a temperatura média mensal.

Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos de uma série histórica de 9 anos (1995-2014), obtidas no site da ANA. As estações utilizadas foram Lages (código 02750005,) para dados de temperatura, e estação Vila Canoas (código 02749031), para dados de precipitação. A estação Lages está localizada fora da área BHAC; seus dados foram utilizados em função da inexistência de série histórica de temperatura na área de estudo. Os dados de chuva são de uma estação localizada no interior da BHAC, a estação Vila Canoas. Este posto meteorológico é o que apresenta maior influência no sub-setor 1 em termos de área.

Tabela 7 - Classificação do índice de balanço hídrico dos sub-setores.

Balanço hídrico	Qualificação do balanço hídrico	Índice
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico superior a 1.500 mm/ano	Muito alto	BH1
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico entre 750 a 1.500 mm/ano	Alto	BH2
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico superior até 750 mm/ano	Médio	BH3
Com deficiência hídrica, pelo menos em mês/ano qualquer excedente	Baixo	BH4

Fonte: Das Neves (2012) adaptado de Beltrame (1994)

Os diagnósticos sócio-econômicos (DSE) e ambiental (DA) também foram realizados para os sub-setores. Segundo Santos (2004), o diagnóstico representa o caminho para compreender as potencialidades e as fragilidades da área de estudo, da evolução histórica de ocupação e das pressões do homem sobre os sistemas naturais.

O diagnóstico sócio-econômico da bacia hidrográfica do Alto Canoas considerou os indicadores de condições de vida e bem estar da população. Tomaram-se como base de estudo os dados secundários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O principal indicador utilizado na avaliação das cidades contidas em cada sub-setor foi o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Este indicador é, de forma resumida, uma medida de desenvolvimento humano que considera em sua determinação índices como a expectativa de vida ao nascer, educação e renda da população. Dessa forma, parte-se do pressuposto de que a degradação ambiental é inversamente proporcional ao nível sócio-econômico da população.

Para o diagnóstico ambiental utilizou-se uma metodologia exequível e de baixo custo que consiste em levantar apenas as situações críticas que necessitam de ações emergenciais em curto prazo. Com isso, os elementos da poluição direta na bacia hidrográfica, como degradação de recursos hídricos, aplicação de agroquímicos e práticas agrícolas inadequadas foram categorizados em um sistema de pesos, que define o nível de impacto ambiental da prática sobre o meio ambiente. De acordo com Macedo (2005) e Santos (2004), os diagnósticos ambientais deverão, obrigatoriamente, caracterizar as potencialidades e as vulnerabilidades da região de estudo, ante as atividades transformadoras que nela ocorrem, além de outras atividades que eventualmente ai se instale.

Os graus de deteriorações dos sub-setores foram normalizados para índices entre 0% a 100% (y), calculando-se a Reta de Deterioração (Equação 11).

$$y = a + h.Ff \quad \text{Equação (11)}$$

Resolvendo-se o sistema de equações da Equação 12, determinou-se os coeficientes “a” e “b” da reta que converte os índices de Ef em índices percentuais.

$$\begin{aligned} ax+b &= 0 \\ ax'+b &= 100 \end{aligned} \quad \text{Equação (12)}$$

Onde:

– x: valor mínimo da soma dos critérios (x = 7)

– x': valor máximo da soma dos critérios (x' = 32)

O valor mínimo possível $E_f = 7$ significa o melhor estado físico-conservacionista que a sub-bacia pode apresentar. O máximo valor $E_f = 32$ representa o pior estado físico-conservacionista.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Área de estudos

A região denominada bacia hidrográfica do Alto Canoas (BHAC) possui área de drenagem de 1.950,34 km², situada entre as coordenadas 27°39' e 28°08' de latitude sul e 49°16' e 49°53' de longitude oeste. Os municípios abrangidos e suas áreas aproximadas ocupadas na bacia são: Bocaina do Sul (142,72 km²), Bom Retiro (842 km²), Rio Rufino (278,48 km²) e Urubici (702,73 km²). (Figura 3).

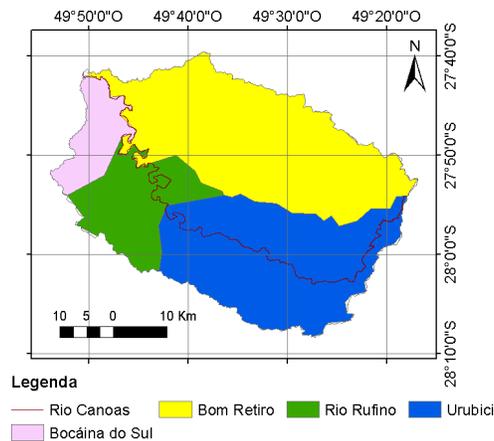


Figura 3 - Municípios contidos na bacia hidrográfica do Alto Canoas (BHAC).

O reconhecimento de campo e o mapeamento da bacia mostraram que a unidade de conservação Parque Nacional de São Joaquim está localizado na região mais alta da bacia, compreendendo a borda da Serra Geral que, em partes, coincide o divisor de águas da bacia do Alto Canoas. Como resultado das avaliações em campo, foi adotado o critério altimétrico como parâmetro de setorização da bacia.

A altitude de 918m foi fixada para dividir a bacia em dois sub-setores, com características distintas (Figura 4). O sub-setor 1, com 565,97 km² contempla os vales, onde concentra-se a maior parte das áreas urbanizadas, numa faixa de altitude entre 631 a 918 metros. Já o sub-setor 2, com 1.384,37 km² contempla a região alta e preservada da bacia, onde localizam-se os campos de altitude e floresta nativas. A altitude do sub-setor 2 varia de 918 a 1818 metros.

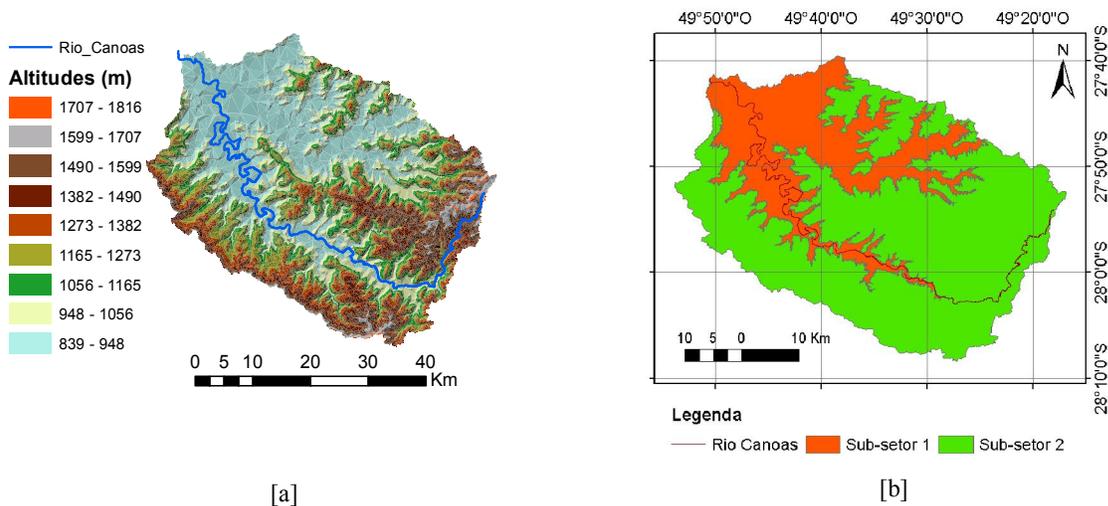


Figura 4 – Distribuição das altitudes [a] e sub-setores [b] da bacia hidrográfica do Alto Canoas.