

Aplicação de geotecnologias — detecção remota e geoprocessamento — para a gestão ambiental dos recursos hídricos superficiais em Cambará do Sul, RS, Brasil

Rosemary Hoff¹, Sandro Vaccaro², Alexandre José Diehl Krob³
rosehoff@cnpuv.embrapa.br, sandrovaccaro@terra.com.br, curicaca@curicaca.org.br

(recebido em 3 de Abril de 2008; aceite em 22 de Setembro de 2008)

Resumo. Atualmente, a degradação ambiental é problema dos gestores municipais e os projetos de monitoramento / recuperação incluem coleta, integração e análise de dados de natureza diversa. Este trabalho foi desenvolvido com uso de geotecnologias como suporte ao diagnóstico e gerenciamento ambiental do Município de Cambará do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. O cartografia florestal gerou mapa de cobertura do solo por classificação MAXVER sobre imagens TM LANDSAT 5. O levantamento de campo diagnosticou os conflitos de uso conforme a Legislação Ambiental. A partir disto foi elaborada proposta de enquadramento por sub-bacias, visando monitoramento ambiental. O estudo demonstrou possibilidades de obter respostas rápidas com emprego de geotecnologias a baixo custo. As informações compõe banco de dados podendo ser atualizado periodicamente e consultado publicamente. Este trabalho faz parte do Projeto Curicaca, Convênio 025/96, Ministério do Meio Ambiente e abordou usos do solo e água visando a classificação de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos, SIG, Detecção remota, Cartografia florestal, Brasil.

Abstract. Currently, the environmental degradation is the problem of county managers and the monitoring / reclamation projects include sampling, integration and analysis of diverse nature data. This work was developed by use geotechnologies and supported to the diagnosis and environmental management

¹ Geóloga, Pesquisadora em sensoriamento remoto e geoprocessamento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

² Engenheiro Florestal, Professor da Faculdade Cenecista de Bento Gonçalves

³ Engenheiro Agrônomo, Coordenador Técnico da ONG Curicaca: <http://www.curicaca.org.br/>

of Cambará do Sul County, Rio Grande do Sul State, Brazil. The forest survey generated map of land use by MAXVER classification on images TM LANDSAT 5. The field survey diagnosed use conflicts based in the Environmental Law. From this, proposal of river basins classification was elaborated to environmental monitoring. The study demonstrated possibilities to get fast answers with low cost techniques. The information may be periodically updated and to be able public consulted. This work is part of Curicaca Project. Accord 025/96, Brazilian Environment Ministry and approached land use and water river basins classification.

Keywords: Water resources management, GIS, Remote sensing, Forest survey, Brazil.

1 Introdução

A organização não-governamental Curicaca tem atuação política e técnica pela conservação do meio ambiente, valorização da cultura e promoção do desenvolvimento sustentável na Mata Atlântica, Pampa e Zona Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. Iniciou os trabalhos em 1997 em Cambará do Sul, Rio Grande do Sul (RS), através do trabalho voluntário de técnicos, acadêmicos, professores, agentes comunitários e estudantes, bem como por meio de projetos, cooperações técnicas e convênios com outras instituições. A missão da ONG CURICACA é contribuir para a viabilidade de todas as formas de vida, promover o respeito aos processos ecológicos, a conservação da biodiversidade, o desenvolvimento sustentável, a diversidade cultural, seus bens, expressões, práticas e saberes no bioma da Mata Atlântica. Este trabalho apresenta parte dos resultados do Projeto Curicaca - Desenvolvimento Sustentável - Aparados da Serra. Convênio 025/96 – Ministério do Meio Ambiente – Política Nacional do Meio Ambiente – Programa de Execução Descentralizada executado no Município de Cambará do Sul. O estudo abordou o levantamento dos usos do solo e da água com vistas ao enquadramento de suas bacias hidrográficas conforme a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 020/86 (Hoff, 1998).

O ideal de manutenção da qualidade das águas de uma região pode ser traduzido no gerenciamento dos mananciais hídricos, passando pelo ordenamento dos recursos hídricos, ou seja, na questão da água, o conhecimento das atividades humanas e potencialidades destes mesmos recursos, permite sua classificação, visando a melhoria da qualidade ambiental. No entanto, a tendência dos estudos gerenciais de qualquer espécie é o aumento expressivo dos dados e a sensibilização para os problemas ecológicos, urbanos e ambientais em geral, cresce o número de propostas e seus projetos dentro de uma dinâmica de renovação de dados referentes

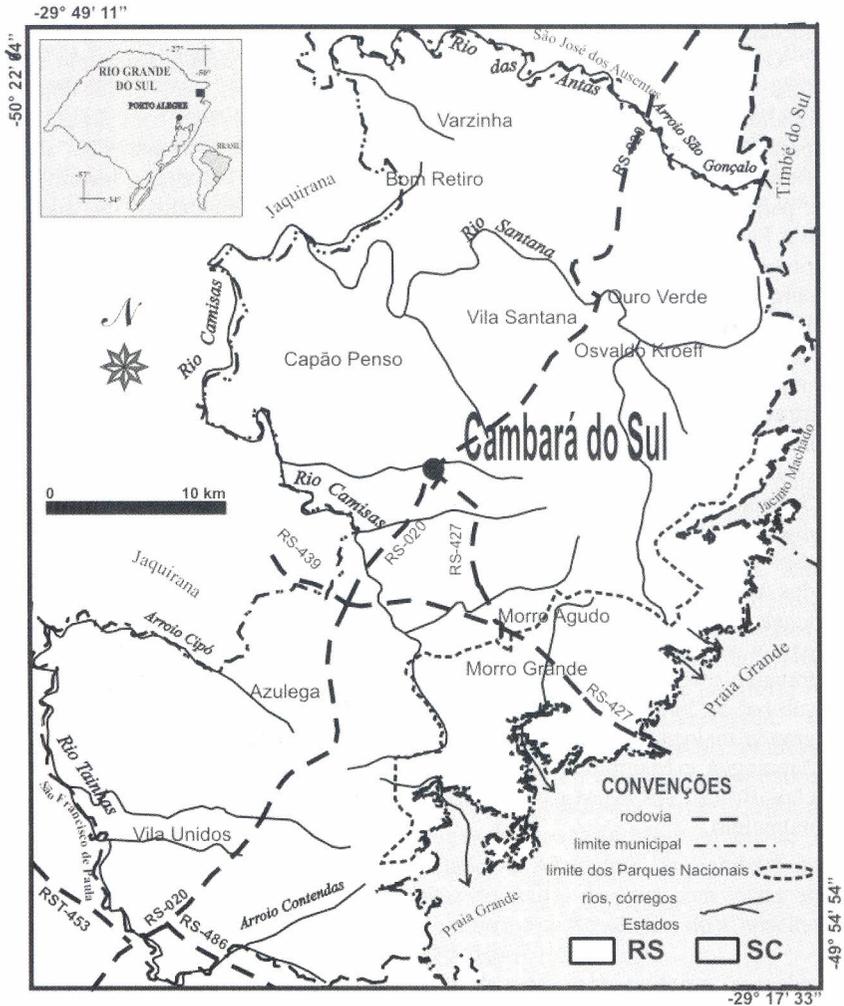


Figura 1 – Localização da área do Município de Cambará do Sul, RS, Brasil.
Fonte: SEPLAN/IBGE. (2003).

À época do estudo havia pouca legislação ambiental pertinente ao enquadramento das águas subterrâneas, pois, muito recentemente foi lançada a Resolução CONAMA No 396, de 03 de abril de 2008 (MMA, 2008) que dispõe sobre o assunto e mesmo assim, pouco exigida. Com os recursos disponíveis do

projeto, seria inviável o levantamento da água subterrânea e pelo Ministério do Meio Ambiente, haja vista que levantamentos de recursos hídricos subterrâneos é atribuição do Ministério de Minas e Energia, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. No entanto, consultou-se o Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS (CPRM, 2008), observando-se que no Município de Cambará do Sul existem menos de uma dezena de poços concentrados na área urbana, dado pouco representativo.

Assim, o levantamento dos usos da água e do solo da município de Cambará do Sul envolveu atividades como obtenção de dados bibliográficos, dados de usos da água e do solo junto aos órgãos públicos federais, estaduais e municipais atuantes na região, sendo geradas informações de fotointerpretação e dados coletados em campo sobre as informações produzidas anteriormente em outras etapas do projeto “Ecoturismo Sustentável para a Região dos Campos de Cima da Serra, Município de Cambará do Sul” Estes dados foram inseridos num Sistema de Informação Geográfica (SIG) e as informações comparadas, sobrepostas e cruzadas posteriormente. As informações compõem um banco de dados georreferenciados baseado na divisão em sub-bacias hidrográficas, constituindo unidades de gerenciamento dos recursos hídricos, podendo ser atualizado periodicamente e acessado pela administração municipal e o público em geral.

2 Antecedentes

Segundo Bellia & Bidone (1993), o gerenciamento ambiental tem a função de definir e coordenar o conjunto de princípios, normas, tarefas, enquanto que os órgãos executores têm por finalidade implantar as atividades previstas no plano ambiental. Sendo assim, o gerenciamento ambiental tem como objetivos: a supervisão ambiental, por meio da inspeção da implantação das medidas mitigadoras; a fiscalização ambiental, através da verificação do cumprimento dos princípios, normas e funções anteriormente estabelecidas e aplicação das sanções previstas e; o monitoramento ambiental, mediante o acompanhamento da implementação das medidas preconizadas pela gestão ambiental, avaliando periodicamente os resultados, propondo alterações e novas ações.

Quando as atividades humanas implicarem em alterações da cobertura de solo, bem como da cobertura vegetal, os ciclos de minerais e nutrientes serão rompidos pela aceleração dos processos naturais de intemperismo e lixiviação (Gregory & Walling, 1987). Os efeitos destes processos podem ser observados diretamente nas águas que drenam as áreas afetadas, pois a aceleração da erosão no solo aumenta a carga de materiais em suspensão nas águas como sedimentos e sais solúveis. Devido à declividade associada ao tipo de solo e subsolo, algumas áreas são mais susceptíveis aos processos erosivos, o que torna sua cobertura vegetal de extrema importância para a estabilidade do terreno. A existência de áreas de preservação

ambiental, além de todas as implicações na conservação de ecossistemas, espécies ameaçadas de extinção, porta-mentes e beleza paisagística, tem uma importância fundamental sobre os recursos hídricos.

Estudos realizados pela Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional – METROPLAN e Companhia de Pesquisa de recursos Minerais - CPRM (CPRM, 2004), de Porto Alegre, RS, para áreas de proteção ambiental estabeleceram áreas com vegetação de preservação permanente, vegetação nativa da Mata Atlântica, áreas de banhado, áreas com declividade acentuada e áreas de recarga de aquíferos, baseando-se nos Códigos Florestais Federal e Estadual e Resolução CONAMA N° 004 18.09.85. A preservação da cobertura vegetal de topos de morros proporciona maior absorção das águas da chuva, tendo importância para a recarga de aquíferos, dos quais se abastecem muitas cidades da região nordeste do RS. No entanto, verifica-se a prática da agricultura de reflorestamento e poucos morros tem preservados a cobertura vegetal original, sujeitos aos cortes rasos das áreas de floresta plantada. A preservação da mata ciliar tem como um dos objetivos manter a estabilidade das margens fluviais, contribuindo para amenizar efeitos de cheias e reduzir o retrabalhamento dos depósitos sedimentares, reduzindo também a turbidez das águas. Áreas de banhados são importantes por armazenarem água durante as cheias, evitando ou amenizando os efeitos das enchentes. Após as chuvas, a água armazenada é devolvida para o rio ajudando a manter estável seu nível médio na estiagem.

As áreas de preservação estão distribuídas em áreas delimitadas como unidades de conservação e áreas não delimitadas de preservação. As unidades de conservação são porções do território com características naturais de relevante valor, de domínio público ou de propriedade privada, legalmente instituídas pelo Poder Público, constituindo-se em patrimônio natural e cultural da comunidade, destinados primariamente à proteção dos diferentes ecossistemas, bem como à educação ambiental, à pesquisa científica e à recreação em contato com a natureza (FEPAM, 2008). Áreas de encosta com alta declividade e as margens de cursos d'água, entre outras, são consideradas de preservação permanente pelo Código Florestal Federal. Sua relativa preservação ocorre, independente da Lei, pela inadequação destas áreas para usos agropastoris. Tais áreas compõem a maior parte da superfície ainda coberta por vegetação nativa, sendo especialmente importantes para evitar a erosão das terras que revestem e o conseqüente assoreamento dos cursos d'água.

Weber et al. (1998) integraram por meio de SIG diversos dados na bacia hidrográfica do rio Caí, gerando novas informações para elaboração de proposta de segmentação para o enquadramento e detectando conflitos de uso da água. O SIG, caracteriza-se por armazenar, recuperar e analisar dados num ambiente computacional, sendo também um banco de dados (Assad & Sano, 1993).

3 Caracterização da Área

Legislação ambiental

Sobre a classificação das águas, os rios pertencentes ao Município de Cambará do Sul se enquadram segundo a Resolução CONAMA nº 020 de 18.06.86, como pertencentes à classe das águas doces, dentro das Classes I a IV (MMA, 2008).

A situação da área frente a legislação ambiental coloca o município dentro da Mata Atlântica, segundo as zonas de amortecimento e transição (FEPAM, 2008). A delimitação desta área foi estabelecida pelo Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA através da Portaria Nº 438 de 04.08.89. Em 08.10.93, a Mata Atlântica foi reconhecida pela UNESCO como Reserva da Biosfera. Sobre reservas ecológicas, a Resolução CONAMA Nº 004 de 18.11.85 pode ser em parte aplicada ao município de Cambará do Sul, respeitando-se as características atuais da área estudada, no que se refere ao Art. 3º - Reservas Ecológicas (MMA, 2008).

O Município de Cambará do Sul abrange a maior parte dos Parques Nacionais (PARNAs) Aparados da Serra e Serra Geral que incluem, respectivamente os canyons do Itaimbezinho e Fortaleza que formam patrimônios naturais brasileiros bastante conhecidos.

Rede de drenagem

Os recursos hídricos do Município de Cambará do Sul pertencem à bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, os principais sendo os rios Tainhas, Camisas, Santana e o rio das Antas. As bacias hidrográficas da região dos *canyons* incluem as nascentes dos rios Mampituba e Araranguá (SEMA/RS, 2008). Conforme estudos feitos no Projeto Ecoturismo Sustentável para a Região dos Campos de Cima da Serra, Município de Cambará do Sul, estes rios alcançam até quarta ordem de drenagem. Os rios das bacias dos *canyons* são na sua maioria enquadrados na primeira ordem. O padrão das drenagem é angular a retilíneo, correspondendo ao condicionamento ao fraturamento das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, que formam ângulos de 60° e 120° nas confluências dos rios e se referem as morfoestruturas de direção NE-SW e NW-SE (Umann, 1998).

Geologia e Geomorfologia

Correspondendo à idade geológica Jurássico inferior, surgem os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. Esta unidade é formada predominantemente por rochas vulcânicas ácidas a intermediárias. A maioria da área do município de Cambará do Sul faz parte da Unidade Geomorfológica (UG) Planalto dos Campos Gerais. As áreas menores, correspondente aos vales dos rios Camisas, Santana e

Antas são classificadas como pertencentes à U.G. Serra Geral (SEPLAN/IBGE, 2003).

A *U.G. Planalto dos Campos Gerais* apresenta sobre as nascentes dos rios Santana e Tainhas, o modelado de aplainamento exumado, degradado e desnudado, com presença de ressaltos topográficos, círculos de erosão nas cabeceiras das drenagens e rupturas de declives nas vertentes. As declividades são fracas variando entre 2° a 5°, o aprofundamento dos vales bastante pequeno, com formação de corredeiras e lajedos. As formações superficiais se restringem a colúvios descontínuos e pouco espessos, apresentando linhas-de-pedra evoluindo para cascalheiros, sendo muito comuns os afloramentos de rocha. Próximo das nascentes dos rios das Antas e Camisas e do médio curso do rio Tainhas, tem-se o modelado de dissecção moderadamente forte, contendo vertentes convexo-côncavas com forte inclinação e aprofundamento mediano dos vales. As formas apresentadas são sulcos estruturais, lajedos, quedas d'água, corredeiras. As formações superficiais são colúvios e elúvios pouco espessos, descontínuos e pedogeneizados, apresentando linhas-de-pedra e afloramentos rochosos.

A *U.G. Serra Geral* constitui um modelado de dissecção muito forte, relativo ao médio curso dos rios das Antas e Camisas e ao baixo curso do rio Santana. As formas de relevo apresentam topos aguçados e alongados, ocorrendo muitas cascatas e corredeiras. As vertentes apresentam patamares escalonados, condicionados pelas estruturas geológicas, sendo na maioria retilíneas, com fortes declives e vales escarpados, com forte aprofundamento. As formações superficiais são colúvios e tálus, alternados com afloramentos rochosos. Há movimentos de massa, como escorregamentos, deslizamentos, quedas de blocos. A retirada da cobertura vegetal, os cortes rasos nas áreas de reflorestamento pode contribuir bastante para a entrada de sedimentos nos rios e o conseqüente assoreamento de seus leitos, favorecido pelas condições adversas do relevo.

Solos e clima

A região estudada apresenta, segundo SEPLAN/IBGE (2003), solos do tipo associação *Terra Bruna Estruturada intermediária* e *Podzólico Bruno-Acinzentado-Húmico álico* correspondendo a solos minerais, não hidromórficos, que apresentam maior contraste entre os horizontes, tendo o horizonte A espessura geralmente maior que 35 cm. Possuem elevados teores de carbono orgânico. Apresentam baixo ou médio gradiente textural, estrutura moderadamente desenvolvida em blocos sub-angulares e textura muito argilosa no horizonte B. Estão relacionados ao derrame de rochas efusivas ácidas da Formação Serra Geral nas altitudes em torno de 700 m e cobertos originalmente por vegetação do tipo Floresta Ombrófila Mista, sendo extremamente ácidos com baixa reserva de nutrientes minerais essenciais para as plantas. Isto implica em uso de calagens maciças e adubação intensiva para aproveitamento agrícola.

A unidade *Cambissolo Bruno Húmico álico* corresponde a solos minerais, não hidromórficos cujo horizonte superficial apresenta elevado acúmulo de matéria orgânica. São típicos de altitude, pouco profundos e de coloração brunada. São solos fortemente ácidos e abrangem áreas de relevo suave ondulado e ondulado, derivados de rochas efusivas ácidas da Formação Serra Geral e apresentam baixa fertilidade natural, o que limita seu uso para a agricultura. São quase que predominantemente utilizados como pastagens naturais.

De acordo com dados analisados a partir do Atlas Agroclimático do Rio Grande do Sul (Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1989), verifica-se em Cambará do Sul um incremento de precipitação em relação ao restante do estado do RS, com média anual de 2.131 mm, valor registrado em São Francisco de Paula, verificando-se a ocorrência de chuvas orográficas.

4 Materiais e método

Os materiais e equipamentos necessários ao desenvolvimento deste trabalho foram obtidos em diversos órgãos públicos e outras entidades. Foram utilizadas fotografias aéreas, pelos Levantamentos aerofotogramétricos do Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM obtidas entre os anos de 1965 e 66 escala 1:60.000 e do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem - DAER obtidas em 1981, escala 1:20.000 e do acervo da Celulose Cambará de 1979 escala 1:20.000. As cartas plani-altimétricas utilizadas foram de escala 1:50.000 executadas pela 1ª DL - Divisão de Levantamento da Diretoria do Serviço Geográfico - DSG, (ME, 1986). Foram adquiridas pelo projeto imagens TM LANDSAT 5 de 30.12.1996, órbita-ponto 220 080, quadrante C (INPE, 2008). Para o processamento de imagens e geoprocessamento foi utilizado o *software* IDRISI 3.2 e CorelDraw 10 para a edição das figuras.

O SIG teve a função de integrar informações espaciais provenientes de dados georreferenciados de naturezas diversas numa única base de dados. A partir disto, pode-se combinar aquelas informações por meio de cruzamentos e sobreposições para gerar mapeamentos derivados, reproduzindo, visualizando e plotando seus dados geocodificados.

Levantamento Bibliográfico

A pesquisa de informações regionais envolveu o levantamento de materiais, assim como planos e projetos governamentais, sendo feita junto a órgãos públicos e entidades afins no âmbito estadual e federal. O levantamento bibliográfico envolveu a pesquisa e a coleta de material existente sobre a região de abrangência do município de Cambará do Sul, obtendo-se dados estatísticos sobre o município e de

suas bacias hidrográficas e informações sobre captação de água para uso doméstico e industrial, lançamento de efluentes, etc. e a localização geográfica.

Trabalho de campo

Esta tarefa foi desenvolvida em duas etapas distintas, sendo que na primeira foram visitadas instituições públicas e privadas, incluindo a Prefeitura Municipal de Camará do Sul e os escritórios regionais da Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural - Emater/RS e da Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN. Nestas visitas foi aplicado questionário (Tabela 1), com a finalidade de apoiar a fase do trabalho de campo. Na Segunda etapa, numa análise prévia da área a ser visitada foi elaborada o roteiro a ser percorrido e as prioridades a serem levantadas, baseando-se em dados fornecidos pelos órgãos consultados. A consulta de fotografias aéreas, cartas planialtimétricas e a imagem classificada de satélite auxiliou nas visitas aos locais, sendo verificado em campo os usos do solo e da água de interesse relevante para os mananciais hídricos. Cada ponto visitado foi georreferenciado com *Global Positioning System* (GPS), utilizando o *datum* Córrego Alegre e a projeção Universal Transversa de Mercator – UTM e/ou localizado na carta topográfica escala 1:50.000. Cada ponto foi descrito sumariamente e registrado fotograficamente conforme a sua representatividade. Para a sistematização destes dados, foi criada uma ficha de campo (Tabela 2).

Tabela 1 - Ficha de levantamento de campo, etapa institucional.

FICHA DE LEVANTAMENTO DOS USOS DO SOLO E DA ÁGUA						
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES JUNTO ÀS INSTIUIÇÕES MUNICIPAIS						
I - IDENTIFICAÇÃO						
- Instituição:						
- Contato/Cargo:						
- Telefone:						
- Estrutura do Setor de Meio Ambiente:						
II - INFORMAÇÕES GERAIS						
Plano diretor:						
Leis específicas sobre uso do solo/proteção ambiental:						
Existência de unidades de conservação/estágio de implantação:						
Planos e projetos previstos.						
ONGs (Organizações Não Governamentais):						
Pontos de potencial turístico:						
Deficiências de infra-estrutura básica:						
População rural:						
População urbana:						
Principais cultivos:						
III - USOS DA ÁGUA						
1. Abastecimento público						
Empresa responsável:						
Local(is) de captação:						
População atendida:						
Vazão aduzida:						
Captação de água subterrânea:						
2. Tratamentos de águas residuárias						
a) Tratamento dos esgotos cloacais municipais						
- Empresa responsável:						
- Tipo de tratamento:						
- Economias atendidas:						
b) Tratamento dos esgotos industriais						
Tipo de indústria:						
Local de lançamento:						
Tipo de tratamento:						
c) Loteamento/Condomínio						
- N.º de Economias						
- Tipo de tratamento						
- Local de lançamento						
3. Recreação						
Nome	Tipo(balneário, pesca, etc.)	Local	Infra-estrutura	Proprietário		
4. Irrigação						
Cultura	Tipo de irrigação	Local(captção)	Área irrigada	Proprietário		
5. Aquicultura						
Espécies	Tipo de confinamento	Local	Área/volume do lago/tanque	Proprietário		
6. Pesca						
Tipo (subsistência, esportiva)	comercial,	Artes de pesca (equipamentos)	Local	Espécies	Proprietário	
7. Dessedentação de animais						
Tipo (fonte, açude, rio)	N.º aproximado	Loc	Espécies	Proprietário		
8. Abastecimento industrial						
Nome	Tipo	Loc	Vazão aduzida	Proprietário		
9. Despejos Industriais						
Nome	Tipo de efluente	Local (lançamento)	Vazão efluente	Proprietário		
IV - OBSERVAÇÕES						

Tabela 2 - Ficha de levantamento de campo - etapa regional.

FICHA DE LEVANTAMENTO DE CAMPO DO MUNICÍPIO DE CAMBARÁ DO SUL						
Ponto	Localização (GPS/Mapa)	Distrito/ Localidade	Tipos de Uso (Ver Códigos)	Descrição Sumária	Operador	Data
CÓDIGOS DE USO						
<p>(1) abastecimento de água: (1.1) barragem(1.2) poço (1.3) fonte (1.4) drenagem superficial (1.5) com tratamento (1.6) sem tratamento</p> <p>(2) despejos domésticos: (2.1) céu aberto(2.2) fossa séptica (2.3) lançamento in natura (2.4) esgoto tratado</p> <p>(3) despejo industrial: (3.1) efluente não tratado (3.2) efluente tratado</p> <p>(4) Resíduos sólidos: (4.1) aterro sanitário (4.2) lixão (4.3) aterro industrial (4.4) bota-fora/rejeito</p> <p>(5) Mineração: (5.1) rocha para brita (5.2) cascalho (5.3) saibro(5.4) argila (5.5) outra substância</p> <p>(6) ponto turístico: (6.1) balneário (6.2) camping (6.3) sem infra-estrutura (6.4) com infra-estrutura</p> <p>(7) Interferência com infra-estrutura: (7.1) barragem (7.2) barragem com usina hidroelétrica (7.3) ponte (7.4) estrada (7.5) linha de transmissão (7.6) dutovia</p> <p>(8) Agricultura (8.1) batata (8.2) pinus (8.3) eucalipto (8.4) outro</p> <p>Obs.: quando houver necessidade, as peculiaridades de cada tipo de uso devem ser colocadas na coluna de descrição sumária do ponto.</p>						

Processamento digital de imagem

O processamento digital de imagens constitui um conjunto de técnicas para identificar e extrair informações orbitais, visando sua posterior interpretação. O objetivo principal do processamento digital, tendo em vista a grande quantidade de dados das imagens, é o de remover as barreiras inerentes ao aparelho óptico humano, facilitando a extração das informações a partir das imagens (Crósta, 1993). As técnicas de processamento digital de imagens aplicadas neste trabalho de pesquisa tiveram a finalidade de melhorar visualmente as composições coloridas utilizadas para obtenção e reconhecimento de alvos ou amostras classificação das imagens.

A classificação de Imagens constitui-se num processo automático de rotulagem, no qual associa-se cada *pixel* da imagem a uma classe que, teoricamente, atribui-se a objetos previamente escolhidos de uma determinada área temática. Por exemplo,

classes de cobertura/uso do solo, como tipos de vegetação Assim, a partir do conhecimento da verdade de campo, onde os pontos correspondentes aos alvos serão registrados, relativamente ao uso do solo da município de Cambará do Sul, foram escolhidas amostras para classificação da imagem.

Para interpretação visual da imagem, utilizou-se uma composição colorida RGB 345. Esta combinação ofereceu informações sobre a cobertura do solo. Testou-se uma classificação não supervisionada *CLUSTER*, mas a interpretação de fotografias aéreas serviu como suporte à análise da imagem de satélite.

Foram feitas saídas a campo e observações *in loco* da cobertura do solo serviram de controle às análises efetuadas sobre a imagem orbital por GPS. A partir da interpretação visual da imagem em falsa-cor, da imagem *cluster*, de fotografias aéreas e de observações a campo, demarcou-se sobre a imagem em falsa-cor assinaturas espectrais de cada padrão de cobertura do solo, sendo obtidas 37 assinaturas espectrais. Para cada assinatura espectral, analisou-se em cada uma das seis bandas iniciais a média e o desvio-padrão proporcionados pelo histograma de distribuição de frequência da radiância. A assinatura espectral foi considerada “boa” quando os histogramas das bandas apresentavam uma distribuição normal e um desvio-padrão baixo.

Após a criação das assinaturas espectrais, foi realizada a classificação supervisionada da imagem, utilizando o método de máxima verossimilhança (MAXVER). Para o aprimoramento da imagem classificada, foi aplicado filtragem empregando-se filtro de moda em matriz 5x5 com finalidade de minimizar ruídos do tipo *pixels* isolados. Em plantios recentes de *pinus* (de 1 a 4 anos de idade), não foi possível fazer uma boa assinatura espectral, de modo que na classificação supervisionada tais áreas confundiam-se com campo, solo exposto e vassoural. O mesmo ocorreu com os plantios comerciais de maçã. Desta forma, em tais áreas sobre a imagem filtrada, foram empregadas máscaras. Para finalizar, sobre a imagem filtrada, utilizou-se uma palheta de cor elaborada com o objetivo de agrupar os padrões que traziam o mesmo nível de informação, como por exemplo: cinco padrões referiam-se aos banhados/turfeiras, então fez-se o agrupamento em uma classe única. Tal procedimento originou 16 classes de cobertura do solo.

Geoprocessamento

A classificação dos recursos hídricos do Município de Cambará do Sul foi feita na seguinte divisão de bacias hidrográficas: bacia do rio Tainhas, margem direita, a partir do rio Contendas (margem direita inclusive), até o arroio Cipó, margem esquerda inclusive; bacia do rio Camisas, desde suas nascentes até sua foz no rio Garrafas; bacia do rio Santana, na continuidade dos rios Reserva e Garrafas (ME, 1981); bacia do rio das Antas, margem desde suas nascentes até a confluência com

o arroio da Serraria (margem direita inclusive) e; bacia da área dos *canyons*, constituindo as nascentes das bacias dos rios Mampituba e Araranguá.

A resolução espacial adotada foi de 30 metros, coincidente com a resolução máxima dos *pixels* das imagens do satélite TM LANDSAT 5. Utilizaram-se informações geradas numa fase anterior do projeto, em que os dados obtidos foram digitalizados no SIG, criando-se planos de informação, a partir da cartas plani-altimétricas, escala 1:50.000, como limite da área estudada, que é a divisão do município; rede hidrográfica, contendo rios, córregos e lagos constantes nas cartas e; rede viária e núcleos urbanos, conforme consta em Krob & Lopez, 1998.

A cobertura e uso do solo, obtida por classificação de imagem de satélite numa fase em que foi levantada a vegetação no município de Cambará do Sul, foi utilizada para a detecção de aspectos relevantes ao uso do solo e da água. A partir dos trabalhos de campo, obtiveram-se pontos registrados com GPS e pela carta plani-altimétrica, foram criados os planos de informação de uso do solo e da água relevantes. Os dados foram convertidos num formato compatível à sua entrada no sistema IDRISI, para gerar o banco de dados georreferenciados. Os dados de campo complementares às informações iniciais foram lançados diretamente no IDRISI por meio de coordenadas obtidas com GPS e da carta plani-altimétrica.

O geoprocessamento permitiu a sobreposição dos diversos planos de informação, agrupados sobre a imagem de satélite classificada e também separados conforme o tipo de uso, auxiliando no mapeamento e apoiando a edição de mapas finais. A partir dos dados tabulados anteriormente, juntamente com dados digitalizados, foi criado um banco de dados georreferenciado baseado na divisão em sub-bacias hidrográficas, podendo ser atualizado periodicamente.

5 Resultados

Uso do solo por classificação de imagem

Após um minucioso estudo de reconhecimento da cobertura florestal do Município de Cambará do Sul (Vaccaro, 1998), foi levantado o uso do solo por meio de detecção remota, o que possibilitou a identificação e quantificação de área de 37 padrões espectrais em 16 classes de cobertura do solo, conforme Tabela 3. A Figura 2 apresenta a imagem classificada contendo as classes.

As florestas abrangem, por exemplo a *Floresta Madura*, *Floresta de porte médio* e *Floresta de porte baixo*. O *Vassoural* refere-se às áreas de vegetação com altura média de 2 metros. Os campos abrangem o *Campo rochoso*, *Campo seco* e *Campo úmido*.

A agricultura inclui classe *Lavoura* e *Maçã* e os reflorestamentos abrangem os *Eucalyptus* spp, *Pinus* spp. e *Pinus jovem* com idade entre 1 e 4 anos.

A classe *Solo exposto* se refere as áreas urbanizadas e construídas, as estradas e corte raso recente sem replantio de talhões de pinus. A classe *Água* se refere aos açudes e rios de quarta ordem. *Banhado/turfeira* refere-se as áreas de difícil escoamento d'água. Também foram incluídas numa classe denominada *Área não classificada* as áreas com nuvens, sombras e as áreas impossibilitadas de serem enquadradas nos padrões espectrais definidos.

Tabela 3: Classes de cobertura do solo com respectiva área e padrão digital.

Padrões (z)	Descrição	Área (ha)	Porcentagem (%)
4; 6	Floresta madura	8886.96	7.59
1; 3	Floresta de porte médio	15102.00	12.90
2; 5	Floresta de porte baixo	8993.34	7.68
7	Vassoural	3647.79	3.11
8; 16; 19; 20; 21	Banhado/turfeira	7307.10	6.24
28	Campo rochoso	18560.61	15.85
30	Campo seco	23717.79	20.25
29; 33	Campo úmido	8070.66	6.89
11	Lavoura	56.61	0.05
35	Maçã	190.08	0.16
18	Eucalipto	451.71	0.38
13; 14; 22 23; 24; 27; 31	Pinus	10241.37	8.74
34; 37	Pinus jovem	4245.21	3.62
12; 15	Solo exposto	3026.25	2.58
10; 32	Água	973.08	0.83
25; 26,9; 36	Ruído/não classificada (sombra, nuvem)	3633.3	3.10
TOTAL:		117103.86	99.97

Obs.: Os valores da primeira coluna referem-se aos 37 padrões iniciais de cobertura do solo, que posteriormente foram agrupados nas 16 classes da segunda coluna, segundo Vaccaro (1998).

Usos do solo e da água que influenciam na qualidade dos recursos hídricos

A cobertura e uso do solo no município de Cambará do Sul que foi feita com base no cartografia florestal e obtida por classificação de imagem de satélite detectou aspectos relevantes do uso do solo que acarretam direta ou indiretamente impactos nos recursos hídricos como: 1) áreas degradadas, em que pode haver perda de solo e geração de sedimentos poluentes dos mananciais; 2) áreas de banhados, para complementação e ampliação dos mananciais dos recursos hídricos; 3) áreas de *pinus* novos, onde existe aplicação de agrotóxicos, como venenos para combate às formigas e; 4) áreas com matas nativas às margens dos mananciais, que garantem qualidades relevantes ao enquadramento e classificação dos recursos hídricos

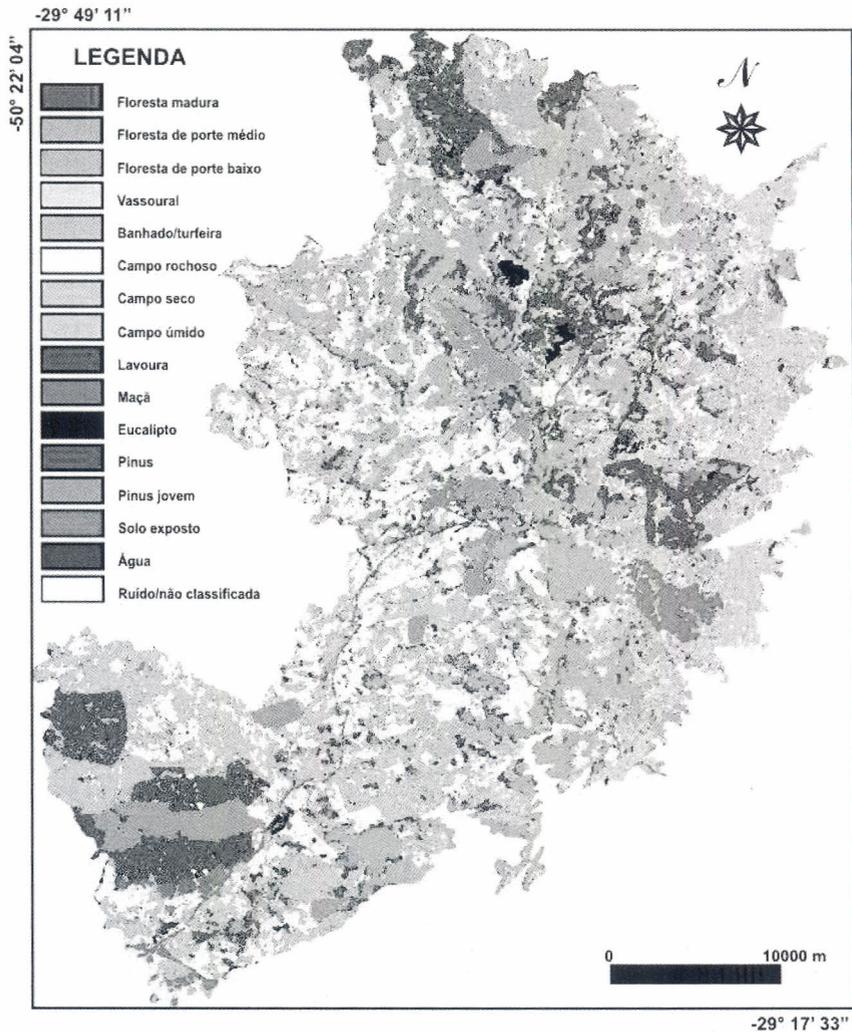


Figura 2 – Imagem classificada de uso/cobertura do solo sobre TM LANDSAT 5.

A atividade agrícola potencialmente poluidora que não pode ser detectada pela classificação de imagem de satélite, mas vista em campo, registrou há uma

frequência significativa de plantio de batata, possivelmente utilizando agrotóxicos, sendo uma prática agrícola implantada mais ou menos recentemente na região. Existem poucas barragens de pequeno porte, não significando retenção de água em épocas de estiagem, mesmo porque a precipitação regional é bastante alta em qualquer fase do ano. Há uma usina hidrelétrica na localidade de Ouro Verde e uma passagem de linha de transmissão sobre o rio Tainhas.

O abastecimento de água no Município de Cambará do Sul é feito principalmente por captação de poço tubular, captação por barragem e por fonte natural. O maior consumo é nas localidades Ouro Verde, Osvaldo Kroeff e Vila Santana, onde há maior parte da população do município. Os despejos domésticos são esgotos a céu aberto na periferia da zona urbana da sede municipal e fossas sépticas, não havendo tratamento do esgoto em qualquer localidade de Cambará do Sul. Os resíduos sólidos predominantes são os resíduos de indústrias madeireiras, seguidos de botaforas de construção de rodovias e por último depósito de lixo doméstico.

A mineração no Município de Cambará do Sul é feita para extração de saibro utilizado como aterro e exploração de rocha para britagem. Os pontos turísticos restringem-se a locais de cachoeiras e rios que servem de balneários e áreas de camping, a maioria sem infra-estrutura básica de saneamento. A interferência de infra-estruturas com os cursos d'água é representada pelas pontes sobre rodovias, ressaltando-se RS-453/RS-486 (Rota do Sol), RS-437 e RS-020, sendo consideradas pontos críticos potenciais para ocorrência de acidentes com cargas tóxicas e/ou perigosas.

5 Conclusões e recomendações

Bacia do rio Tainhas

A área concentra o uso antrópico no eixo formado pela RS-020, tendo-se a Vila Unidos como concentradora da população nesta área do município de Cambará do Sul. A água é consumida para uso doméstico, sendo a captação feita por poços tubulares. Com o asfaltamento da rodovia Rota do Sol e RS-020, foi possível aumento dos estabelecimentos comerciais (de combustível e restaurantes), sendo que ainda há canteiro de obras das empreiteiras com oficinas, depósito de combustíveis, escritórios e alojamentos para o pessoal empregado na obra.

As atividades de terraplanagem das rodovias como a RS-020 causaram impactos ambientais, vistos nas imagens e comprovados nos trabalhos de campo. Estes impactos são devidos ao assoreamento dos recursos hídricos, pela constante exposição de solos e rochas alteradas, suscetíveis à erosão hídrica originada nos períodos de intensa precipitação. Consequentemente, ocorre grande contribuição de material particulado como sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis diretamente

para dentro dos mananciais mais próximos da rodovia. No caso desta bacia hidrográfica, o rio principal recebe estes sedimentos por meio dos arroios Baio Branco e Cipó.

No entanto, não foi observado conflito de uso relevante, pois, o consumo de água é feito por meio de água subterrânea, a indústria local parece reciclar a água no processo produtivo, havendo pouca atividade balneária nesta bacia hidrográfica. Esta bacia pode ser classificada, após observação do uso preponderante, como pertencente à Classe 3, apesar da existência de uma grande área de reflorestamento de *pinus*, porém, relativo a uma indústria, que pode controlar os problemas com manejo adequado das práticas do cultivo madeireiro.

Bacia do rio Camisas

Nesta área, os problemas ambientais diretamente relacionados com os recursos hídricos concentram-se na sede municipal, com despejos domésticos, depósito de lixo, rejeito de madeira em conflito com captação subterrânea de água. A captação superficial feita pela CORSAN está comprometida pela localização, porque à montante situam-se cemitério da cidade, matadouro e plantio de *pinus* recente, caracterizando conflito de uso. À jusante, observam-se conflitos no próprio rio Camisas e nos afluentes, com cascatas como o Lajeado das Margaridas, local com potencial turístico bastante conhecido no município. Além disto, a rodovia RS-020 corta a área, tendo-se pontes, áreas de bota-foras da rodovia em construção, causando os mesmos problemas já citados. A classificação desta bacia pode ser dada em função de seu uso atual preponderante, que são os despejos domésticos da sede do município, como pertencente à Classe 4 – usos menos exigentes.

Bacia do rio Santana

A área concentra os usos no polo industrial, nas localidades de Ouro Verde, Vila Santana e Osvaldo Kroeff que contribuem com efluentes domésticos e as indústrias de celulose utilizam água no processo produtivo, lançando os despejos diretamente no rio principal. Há conflitos de uso da água no que diz respeito à captação e o despejo entre as localidades de Osvaldo Kroeff e Vila Santana, tendo em vista que a captação desta última é feita à jusante do lançamento de esgotos da primeira.

As estradas não são pavimentadas até as proximidades da sede municipal e as obras da estrada RS-020 estão em fase de projeto, porém, a sua futura execução poderá gerar os mesmos conflitos de uso e impactos que foram observados no trecho Cambará – São Francisco de Paula. Ainda assim, a geração de sedimentos são causados pela extração de material para aterro à beira das estradas, como a RS-020 e a estrada municipal para a localidade de Bom Retiro. Esta bacia pode ser classificada como pertencente à Classe 4 porque grandes áreas de reflorestamentos

a colocam na categoria de usos menos exigentes, devido aos impactos ambientais potenciais, como contaminação por agrotóxicos, bem como pela destruição do solo causada pelo corte raso, erosão e produção de sedimentos.

Bacia do rio das Antas

A área é significativamente impactada pela atividade madeireira, concentrada fora do município em localidades vizinhas no Município de São José dos Ausentes, como São Gonçalo e Brasília. Nestes locais, foram registrados depósitos de resíduos sólidos, como serragem e aparas de madeira às margens do rio das Antas. Na imagem de satélite percebem-se áreas degradadas com solo exposto, devido ao corte raso de *pinus* na localidade de Varzinha a campo observou-se a destruição da horizontes superficiais do solo, como a camada orgânica e a camada terrígena logo abaixo, expondo-se blocos arredondados de rocha, havendo carreamento de material fino, silte e argila, e o rolamento dos blocos. À semelhança do que ocorre na bacia do rio Santana, os problemas relativos aos sedimentos concentram-se na rodovia RS-020. Esta região também deve ser enquadrada na Classe 4, pela potencialidade de ocorrência de impactos ambientais semelhantes àqueles citados.

Bacias dos *canyons*

Nestas bacias o uso preponderante são pastagens e turismo informal, pois a borda deste planalto recebe grande quantidade de visitantes nos *canyons* da Fortaleza, Itaimbezinho, Faxinal e Malacara. O Itaimbezinho tem as visitas controladas pelo plano de manejo do PARNA Aparados da Serra e o Fortaleza se encontra dentro do PARNA Serra Geral e tem restrições de algumas atividades.

A sub-bacia que abrange os PARNAs Aparados da Serra e Serra Geral é cortada pela rodovia RS-437 que liga Cambará do Sul à Praia Grande em Santa Catarina. À semelhança do que ocorre nas outras bacias, há problemas de solo exposto e sedimentos, devido à periódica extração de saibro para manutenção desta e de outras estradas vizinhas. Além disto as obras desta rodovia estão em projeto e passa por análise na FEPAM e IBAMA. Se a obra for executada sem as medidas mitigadoras apareceriam conflitos de uso e impactos ambientais já vistos na RS-020, agravando-se pela situação entre os PARNAs.

Nestas sub-bacias não foi observada a maioria dos problemas ambientais relativos aos usos comuns, com exceção dos plantios de *pinus* novos e os cortes rasos, pode-se classificar as bacias, conforme o uso preponderante, como pertencentes às categorias Classe Especial e Classe 1. O mapa da Figura 3 mostra o potencial das fontes poluidoras frente ao uso do solo e da água no município de Cambará do Sul. Para enquadrar e monitorar as condições adversas apresentadas

neste estudo foi elaborada uma proposta de enquadramento dos recursos hídricos, descrita a seguir.

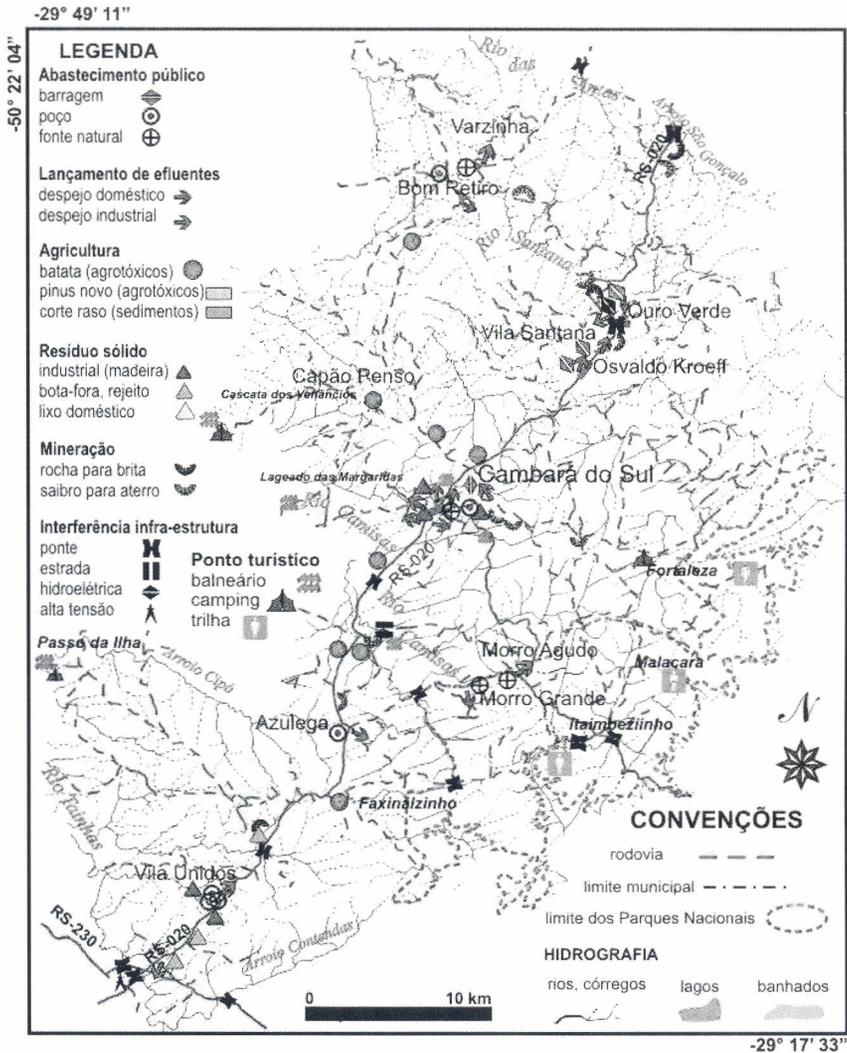


Figura 3 – Usos do solo e da água potencialmente impactantes no Município de Cambará do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, conforme Hoff (1998).

Proposta metodológica de enquadramento

Primeiramente, propõe-se relacionar o tipo de substância contaminante *versus* tipo de uso atual ou previsto para determinada sub-bacia ou bacia hidrográfica, seguido da tabulação dos dados e obtendo pontuação da atividade conforme a Resolução CONAMA N° 020/86, sugerindo-se:

Relacionar a substância contaminante química, biológica, a partir do uso detectado (lixo, indústria, esgoto, etc.), possibilitando padronizar as substâncias preconizadas para a área estudada frente à Resolução citada, com a finalidade de estabelecer o monitoramento das águas;

Consultar em órgãos ambientais, estudos como EIA/RIMAs e outros de empreendimentos potencialmente geradoras de usos detectados, as substâncias prováveis, conforme a legislação, visando o enquadramento prévio;

Tabular os dados conforme a Tabela 4, com a finalidade de auxiliar no controle das fontes de poluentes, visando o monitoramento dos pontos críticos;

Elaborar um somatório dos usos da água para cada bacia, tendo como resultado uma classe de água para cada bacia da seguinte forma:

$$\Sigma_{\text{usos}} = A + B + C = \text{Classe X.}$$

Tabela 4 – Controle de fontes de contaminação dos mananciais hídricos

Ponto	Localização geográfica	Tipo de uso	Substâncias contaminantes						Monitoramento
			a	b	c	d	e	f	
1									
2									

Formação de bancos de dados georreferenciados

A partir das informações levantadas, é possível a implantação de um *banco de dados georreferenciados*, baseado na divisão da área do município em sub-bacias hidrográficas (Figura 4), viabilizando o gerenciamento ambiental dos recursos hídricos pela municipalidade, juntamente com entidades como Estado, ONGs, Universidades. Além disto, novas informações podem ser adicionadas e/ou atualizadas. Devido à grande quantidade e a diversidade de informações para o gerenciamento ambiental da rede de recursos hídricos de Cambará do Sul, sugere-se

a implantação de um SIG, com o emprego de programas não proprietários, como SPRING desenvolvido pelo INPE (Câmara et al., 1996).

Este SIG deve conter informações dos levantamentos feitos pelo projeto “*Ecoturismo Sustentável para a Região dos Campos de Cima da Serra, Município de Cambará do Sul*” do PED de Cambará do Sul (Krob, 1998). A implantação requer a aquisição de equipamentos de entrada de dados como microcomputador, impressoras e de plotadora. A implantação requer também o treinamento de pessoal designado para coordenar, operar, utilizar o sistema, bem como a assistência e consultoria para o início do funcionamento do sistema e entrada de dados.

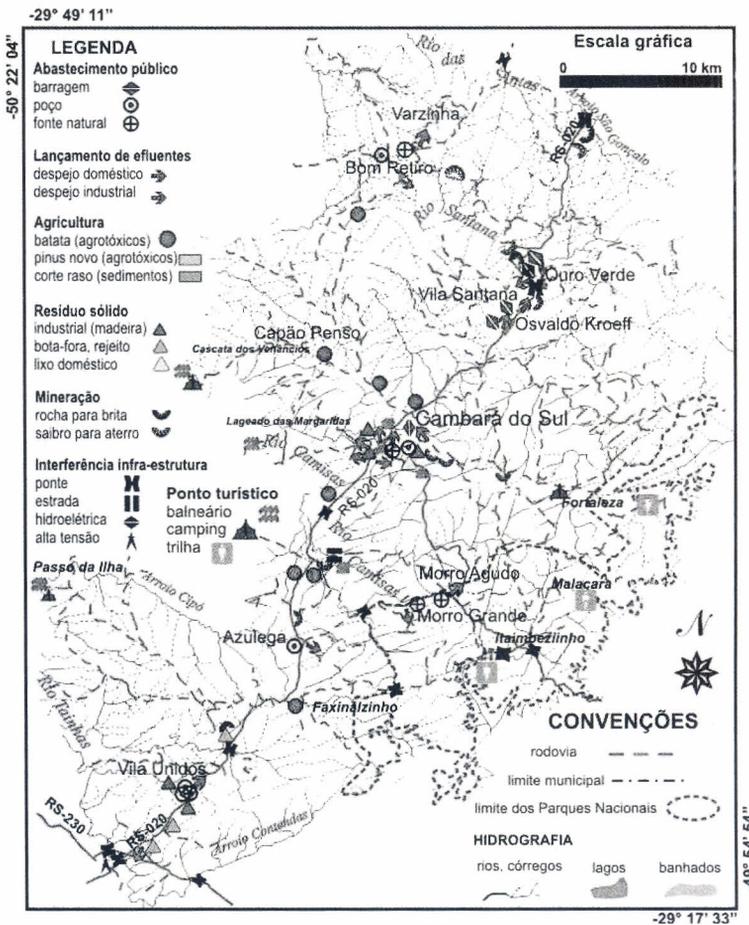


Figura 4 – Usos do solo e da água potencialmente impactantes no Município de Cambará do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, conforme Hoff (1998).

Agradecimentos

Agradecemos à Prefeitura Municipal de Cambará do Sul, à Fundação Estadual de Proteção Ambiental e demais instituições que forneceram os dados. Especialmente aos técnicos em geoprocessamento Amaro de Paula Diehl Krob e Daniel Mansur Lopez.

Bibliografia

- Assad, E.D.; Sano, E.E. 1993. *Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura*, Planaltina: EMBRAPA - CPAC, 274 p.
- Bellia, V.; Bidone, E.D. 1993. *Rodovias, Recursos naturais e Meio Ambiente*, EDUFF/DNER, Niterói (Rio de Janeiro), 360 p.
- Câmara G., Souza R.C.M., Freitas U.M., Garrido J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996. <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>
- CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais .1994. Programa Técnico para o Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre – PROTEGER, Relatórios e Mapas, Porto Alegre. http://www.cprm.gov.br/publique/media/cat_gate.pdf
- CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais .2008. Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. <http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp?w=1280&h=768&info=1>
- Crósta, A.P. 1993. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. IG/UNICAMP, Campinas, 170 p.
- FEPAM.- Fundação Estadual de Proteção Ambiental - 2008. Mapa da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul.. http://www.fepam.rs.gov.br/programas/mapa_mata.htm
- Gregory, K.J.; Walling, D.E. 1987. *Human Activity and Environment Processes*, Chichester. John Wiley & Sons Ltda.
- Hoff, R. 1998. Relatório de recursos hídricos. Projeto de desenvolvimento sustentável para a região dos Campos de Cima da Serra - Convênio 025/96 MMA/PNMA/PED, Cambará do Sul, 37 pp, inédito.
- INPE. – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2008. Divisão de geração de imagens. Cachoeira Paulista <http://www.dgi.inpe.br/>
- IPA - Instituto De Pesquisas Agronômicas. Seção de Ecologia Agrícola. *Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 1989. 3v. il.: 296 mapas, 28 tab.
- Krob, A P. D.; Lopez, D. M. 1998. Relatório de geoprocessamento. Projeto de desenvolvimento sustentável para a região dos Campos de Cima da Serra - Convênio 025/96 MMA/PNMA/PED, Cambará do Sul, 24 pp, inédito.
- Krob, A. J. D. 1998. Relatório final. Projeto de desenvolvimento sustentável para a região dos Campos de Cima da Serra - Convênio 025/96 MMA/PNMA/PED, Cambará do Sul, 155 pp, inédito.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Brasília .2008. Resoluções CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF <http://www.mma.gov.br/port/conama/>
- ME - Ministério do Exército - 1981 – Folhas Aratinga, Cambará do Sul, Jacinto Machado, Jaquirana, Praia Grande, Tainhas, Vila Santana, escala 1:50.000, Diretoria do Serviço Geográfico do Exército – DSG, 1ª DL.
- SEMA/RS - Secretaria de Estado de Meio Ambiente..2008. Sistema Estadual de recursos Hídricos. <http://www.sema.rs.gov.br/sema/jsp/rhcomrios.jsp>
- SEPLAN/IBGE. 2003. Levantamento de Recursos Naturais. Radambrasil. V 33. Rio de Janeiro. CD-ROM.
- Umann, L. V. 1998. Relatório de geologia. Projeto de desenvolvimento sustentável para a região dos Campos de Cima da Serra - Convênio 025/96 MMA/PNMA/PED, Cambará do Sul, 29 pp, inédito.
- Vaccaro, S. 1998. Relatório: de engenharia florestal. Projeto de desenvolvimento sustentável para a região dos Campos de Cima da Serra - Convênio 025/96 Mma/Pnma/Ped, Cambará do Sul, 47 pp, inédito.
- Weber E. J., Duarte; G. F.; Frank, M. W., Hoff, R.; Zomer, S.; Bassani E.; Junqueira, I. – 1998 - Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do rio Caí - RS. In: *GIS Brasil 98 e IV Congresso e feira para usuários de geoprocessamento*, CD-ROM, Curitiba.