

Comparação entre o índice de integridade biótica e um método de multicritério, para análise da qualidade ambiental de três riachos tributários ao reservatório de Itaipu

Cleodimar Fernandes, cleodimarf@hotmail.com

Universidade Federal do Paraná (UFPR), Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia,
Curitiba, PR, Brasil.

Neida Maria Patias Volpi, nmpv@mat.ufpr.br

Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Matemática da UFPR, Curitiba, PR, Brasil

Gilmar Baumgartner, baum@unioeste.br

Grupo de Pesquisa em Recursos Pesqueiros e Limnologia (UNIOESTE), Toledo, PR, Brasil.

*Recebido: Fevereiro, 2007 / Aceito: Agosto, 2007

RESUMO

As atividades humanas têm exercido profunda e, normalmente, negativa influência sobre os corpos hídricos, sendo que alguns efeitos negativos são devidos aos poluentes, enquanto outros estão associados às mudanças na hidrologia da bacia, modificações no habitat e alterações das fontes de energia. Muitas situações na tomada de decisão, sobre um ambiente, envolvem a seleção de alternativas, eventos ou cursos de ações. No entanto, essas decisões geralmente possuem pontos de vista conflitantes, com diferentes juízos de valores, forçando os tomadores de decisão a decidirem sem uma base técnica suficiente, induzindo muitas vezes a decisões equivocadas. Em vista do exposto acima, o objetivo desta pesquisa foi apresentar um método de multicritério (ELECTRE TRI), para avaliar a qualidade ambiental de riachos e compará-lo ao Índice de Integridade Biótica, sendo que ambos foram aplicados em afluentes ao Reservatório de Itaipu (rios Ajuricaba, Arroio Fundo e Curvado), utilizando-se a comunidade de peixes como indicador. De acordo com os resultados constatou-se que a escolha do método multicritério para este tipo de trabalho é válida, pois quando comparados com o Índice de Integridade Biótica, os resultados não se distanciaram. Deste modo, o ELECTRE TRI, além de ser um método que avalia o conjunto de critérios para classificar os riachos, representa melhor a realidade quando comparado com o Índice de Integridade Biótica, tendo em vista que é um método não-compensatório.

Palavras Chave: ELECTRE TRI, Índice de Integridade Biótica, qualidade ambiental.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas do século XIX, as atividades econômicas às margens do rio Paraná, passaram por um processo de expansão, primeiro com a exportação da erva-

mate e, posteriormente, de madeira para os portos argentinos. Para a região oeste do Paraná, a crise das exportações da erva-mate foi compensada pela expansão das exportações de madeira para os mercados latinos, pois em razão da 1ª Guerra Mundial, havia se tornado difícil e cara, a importação de madeiras da Europa e da América do Norte. Esses mercados passaram a ser cada vez mais atendidos por exportações brasileiras, em especial as da região oeste, que apresentavam menores custos de transporte, realizados através do rio Paraná.

Em 1.948 foi criado o Departamento Administrativo do Oeste, coincidindo com a aceleração do processo migratório à região, o que levaria à rápida ocupação do oeste, principalmente por migrantes de origem alemã e italiana, vindos de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. A rápida ocupação do território processou-se de diversas formas: a) empresas de colonização, apoiadas pelo governo estadual, colocavam lotes à venda em condições atraentes; b) o próprio governo estimulava a vinda de colonos para terras públicas; c) muitos se deslocavam por iniciativa própria e ocupavam terras, e depois, com seu sucesso, atraíam outras famílias, que se estabeleciam nas vizinhanças; e, d) muitos também se dirigiam para pequenos núcleos, alguns dos quais viriam a se transformar em povoados, e mais tarde, em cidades.

Essa invasão da região oeste do Paraná por imigrantes, provocou diversos impactos ao meio ambiente (Ambiente Brasil, 2006), dentre os quais podemos citar: a) a erosão causada pela atividade agrícola, que pode atingir 20 toneladas de solo fértil, por hectare por ano, produzindo uma rápida sedimentação nos rios e reservatórios; b) a poluição e contaminação de rios e lagos, pelo uso e despejo intensivo de agrotóxicos e substâncias nocivas, que tem produzido amplas modificações nesses ambientes; c) o agravamento de enchentes pela ocupação inadequada das áreas de amortecimento, ou seja, áreas onde havia cobertura como: mata ciliar e vegetação aquática, que serviam de proteção; d) a perda de áreas alagadas com a construção de represas; e) a intensificação do turismo e recreação, que exerce forte pressão sobre os recursos naturais; e f) a substituição de espécies nativas de peixes por espécies exóticas.

Essas ações que aconteceram também nas margens do rio Paraná, o mais importante da Bacia do Prata, afetam sobremaneira a estrutura da comunidade de peixes, provocando a redução ou mesmo a extinção de algumas espécies (Gerpel/Unioeste/Itaipu Binacional, 2005).

O rio Paraná, que flui no sentido norte-sul, por mais de 4.000 km, com bacia de drenagem de 1.237.000 km² de área, possui elevada importância devido a sua extensão no território brasileiro e aos milhões de habitantes. Esta bacia abrange os estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná (Gerpel/Unioeste/Itaipu Binacional, 2005). Neste último estado, os tributários do rio Paraná, responsáveis pela drenagem, provocam um enorme grau de relação entre a bacia de drenagem e seus usuários, que ocorre desde os pequenos riachos formadores, passando pelos de médio porte e atingindo o rio principal.

Dentre os tributários do rio Paraná de grande importância podemos citar o rio São Francisco Verdadeiro, que se estende desde sua nascente no município de Cascavel até a desembocadura no reservatório de Itaipu, no município de Entre Rios do Oeste. Sua área de drenagem abrange os municípios de Cascavel, Toledo, Ouro Verde do Oeste, São José das Palmeiras, Entre Rios do Oeste, Marechal Cândido Rondon e Pato Bragado, sendo que ao longo de seu curso estão instaladas aproximadamente 10 mil propriedades rurais. O Rio São Francisco Verdadeiro é formado por vários rios e riachos tributários que devido às atividades humanas constituem uma região enormemente impactada. Os rios e riachos são ambientes lóticos que são caracterizados por apresentarem fluxo de água elevado e unidirecional, com processos de erosão e deposição, e diferentes tipos de substrato. Estes ambientes constituem um sistema aberto com fluxo contínuo, proporcionando o arraste de material orgânico e inorgânico no sentido nascente à foz (Schäfer, 1985). Ao longo dos rios e riachos ocorrem oscilações nos fatores ambientais e nas características fisiográficas,

podendo influenciar a distribuição das espécies de peixes e a organização das comunidades.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade ambiental dos riachos Ajuricaba, Arroio Fundo e Curvado, localizados no município de Marechal Cândido Rondon, bacia do rio São Francisco Verdadeiro, através do Método de Multicritério (ELECTRE TRI) e do Índice de Integridade Biótica (IIB).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em três etapas, que consistiram em: 2.1) Programa de amostragem (coleta de peixes e análise em laboratório); 2.2) Estimativas do índice de Integridade biótica; e 2.3) Utilização do método multicritério Electre Tri. Os detalhamentos metodológicos foram os seguintes:

2.1 PROGRAMA DE AMOSTRAGEM

As amostragens dos peixes nos riachos Ajuricaba, Arroio Fundo e Curvado foram realizadas bimestralmente, entre outubro de 2004 e abril de 2006, pelo GERPEL – Grupo de Pesquisa em Recursos Pesqueiros e Limnologia, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Toledo, sendo definidas duas estações de amostragem (nascente e foz), em cada um dos riachos, pertencentes à bacia hidrográfica do rio São Francisco Verdadeiro (Figura 01). O posicionamento geográfico das estações é apresentado na Tabela 01.

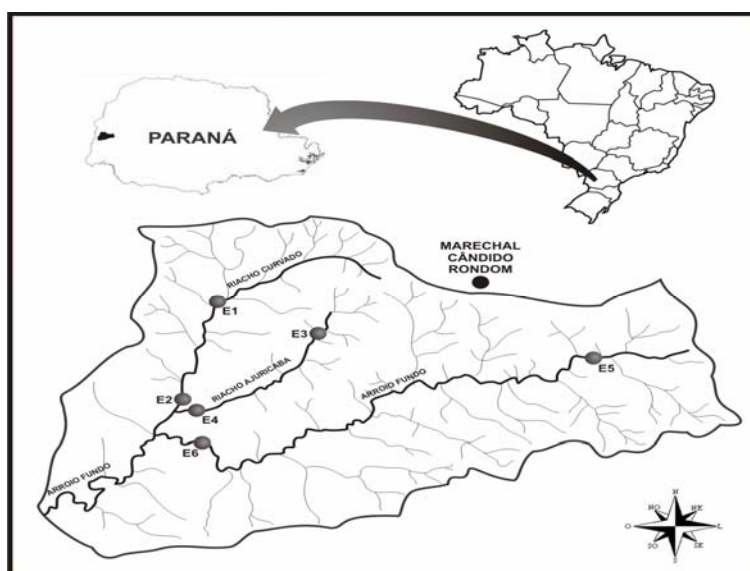


Figura 01 - Localização das estações de amostragem (Nascentes: E1, E3 e E5; Foz: E2, E4 e E6), fonte: (Gerpel/Unioeste/Itaipu Binacional, 2005).

Tabela 01 - Geoposicionamento das estações de coletas.

Área	Estação	Município	Posicionamento
Ajuricaba	Nascente	Marechal C. Rondon	21J 0791711E/7278627S
	Foz	Marechal C. Rondon	21J 0787391E/7275728S
Arroio Fundo	Nascente	Marechal C. Rondon	21J 0796877S/7277177S
	Foz	Marechal C. Rondon	21J 0787369S/7274635S
Curvado	Nascente	Marechal C. Rondon	21J 0788638S/7280166S
	Foz	Marechal C. Rondon	21J 0787404S/7275769S

As coletas foram realizadas em trechos de 40 metros, delimitados por rede de bloqueio de malha de 0,5cm, utilizando-se dois puçás energizados (cátodo e ânodo) por um gerador de eletricidade de 2,5kW, denominada de pesca elétrica, funcionando em corrente contínua com saída de 220V e 2A, através de três coletas sucessivas no sentido da foz à cabeceira.

Após as coletas com pesca elétrica, foram utilizadas peneiras em vinte lances em cada local, sendo que os indivíduos capturados foram fixados em formol 4% e transportados ao laboratório para análise, onde cada exemplar foi identificado ao nível específico, sendo ainda obtidos o comprimento total, comprimento padrão, peso, os estágios de maturidade sexual e o grau de repleção gástrico.

2.1.1 Descrição dos Ambientes de Coleta

As características dos locais de amostragem estão reportadas a seguir, já que a descrição da flora do ambiente é um fator importante na questão de avaliação ambiental, uma vez que essas características influenciam nos resultados finais da qualidade de um ambiente.

Na estação Ajuricaba/Nascente observou-se fundo lodoso e considerável quantidade de abrigos, isto é, margens escavadas que servem para diminuir a visibilidade dos peixes em relação aos predadores aquáticos e terrestres. Suas margens apresentam predominância de solo nu com pequena faixa de árvores e arbustos. Ambiente inverso registrou-se na estação Ajuricaba/Foz, que possui fundo pedregoso, pouco abrigo, grande faixa de arbustos, poucas árvores e pequena faixa de solo nú.

A estação Arroio Fundo/Nascente apresenta fundo pedregoso, ausência de abrigos e suas margens possuem quantidade razoável de árvores e arbustos com faixas de solo nú. Situação semelhante ocorre na estação Arroio Fundo/Foz que também apresenta fundo pedregoso e ausência de abrigos, porém nas suas margens existe a predominância de árvores e arbustos e pequenas faixas de solo nú.

O ambiente da estação Curvado/Nascente caracterizou-se pelo fundo rochoso com pequenas áreas de lodo e considerável quantidade de abrigos, com predominância de árvores e arbustos em suas margens. Na estação Curvado/Foz observou-se fundo pedregoso, pequena quantidade de abrigos e suas margens possuem larga faixa de arbustos, poucas árvores e considerável quantidade de solo nú.

2.2 ÍNDICE DE INTEGRIDADE BIÓTICA (IIB)

O IIB é um valor que mede a qualidade dos rios e foi desenvolvido por Karr (1981). Este método pretende descrever os riachos em quatro classes de qualidade ou categorias ambientais (Bom, Regular, Pobre e Muito Pobre), em função de um valor x a ser calculado, como descrito na tabela 02.

Os atributos que delimitam a análise de níveis ecológicos, de indivíduos até a população de peixes, foram agrupados em quatro categorias: a) riqueza e composição de espécies, b) espécies indicadoras, c) composição trófica e, d) abundância, segundo Karr et al. (1986) e Roth et al. (2000).

Tabela 02 - Pontuação do Índice de Integridade Biótica

Categoria	Pontuação	Descrição
Bom	$34 \leq x \leq 45$	Comparável aos riachos de referência e considerados minimamente impactados. Espécies nativas apresentando várias classes de tamanho; estrutura trófica balanceada. Em média, os atributos biológicos enquadram-se em mais de 50% da condição de referência.
Regular	$23 \leq x < 34$	Comparável aos riachos-referência, porém com alguns aspectos da biologia comprometidos. Em média, os atributos situam-se entre 10 e 50% da condição de referência.
Pobre	$11 \leq x < 23$	Significante desvio da condição de referência, com muitos aspectos da integridade biológica distantes da situação minimamente impactada. Em média, os atributos estão abaixo de 10% da condição de referência.
Muito Pobre	$9 \leq x < 11$	Forte desvio da condição de referência, com muitos aspectos da integridade biológica alterados, indicando degradação séria. Em média, os atributos biológicos estão abaixo de 10% da condição de referência.

O IIB para um determinado riacho é calculado somando-se várias avaliações, sendo que a cada atributo é dado uma nota: 5 (situação boa), 3 (situação regular) ou 1 (situação ruim), que avalia as variações ecológicas e evolutivas do atributo. O IIB é calculado da seguinte forma:

$$IIB(a_k) = g_1(a_k) + g_2(a_k) + \dots + g_9(a_k) = x, \quad k = 1, \dots, K$$

Onde:

a_k é uma alternativa (riacho ou estação de amostragem);

k n° de alternativas;

$g_j(a_k)$ atributo j avaliado em a_k .

As definições de cada atributo utilizado na pesquisa estão descritas a seguir:

Atributo 1: Número de espécies nativas.

O conceito de espécies nativas foi usado extensivamente para avaliar a qualidade do sistema ecológico. Na maioria dos casos, o número da espécie de peixes suportada por riachos de um dado tamanho, em uma certa região, diminui com degradação ambiental (Karr et al., 1986). A redução no número de espécies pode resultar na diversidade diminuída do habitat ou da perda das espécies que são sensíveis aos poluentes ou a outros impactos humanos-induzidos.

Atributo 2: Número de espécie de peixes bentônicas.

As espécies de peixes bentônicas vivem no fundo do riacho, sendo sensíveis à degradação do habitat bentônico, porque têm exigências específicas para reproduzir e se alimentar no fundo do riacho. O habitat bentônico pode ser degradado pela redução do oxigênio dissolvido, sendo degradado freqüentemente nos riachos que contêm grandes quantidades de substâncias impróprias.

Atributos 3 e 4: Número de espécies intolerantes e proporção de espécies tolerantes.

Espécies intolerantes estão entre as primeiras a serem afetadas por perturbações, sendo que as porcentagens de espécies dominantes (tolerantes) na comunidade de peixes indicam prováveis aumentos na degradação. Enquanto as espécies intolerantes se tornam menos abundantes em riachos degradados, as espécies tolerantes aumentam a abundância relativa e podem transformar-se em dominantes (Karr et al., 1986).

Atributo 5: Porcentagem de espécies generalistas, onívoras ou invertívoras.

A dominância de espécies generalistas aumenta enquanto as fontes específicas de alimento se tornam menos confiáveis, isto é, quando as circunstâncias degradadas reduzem a abundância de artigos particulares destes indivíduos (Karr et al., 1986).

Além disso, um local declina em qualidade à medida que aumenta a proporção de indivíduos onívoros, sendo que a dominância dessas espécies cresce consideravelmente, como resultado da degradação da base alimentar, especialmente dos invertebrados.

As espécies invertívoras alimentam-se de insetos e outros invertebrados incluindo crustáceos e moluscos.

Atributo 6: Proporção de espécies carnívoras.

As espécies carnívoras são importantes indicadores, sendo que populações viáveis e saudáveis de espécies carnívoras indicam uma comunidade saudável e diversificada. Com o declínio da qualidade da água, essas populações diminuem e/ou desaparecem, em função do desaparecimento das espécies presa.

Atributo 7: Proporção de espécies insetívoras.

A degradação do habitat, em função da poluição, reduz a fonte de insetos, o que automaticamente induz a uma redução no número de espécies insetívoras, que representam os níveis tróficos mais baixos (Karr et al., 1986).

Atributo 8: Número dos indivíduos por metro quadrado.

Em riachos degradados, geralmente é esperado que o rendimento em número de indivíduos seja menor que em riachos menos impactados. Além disso, os riachos com produtos químicos ou qualidade degradada do habitat suportam somente espécies tolerantes, que provavelmente terão um número de indivíduos menor.

Atributo 9: Biomassa por metro quadrado.

A biomassa que um riacho pode acomodar é uma função da quantidade e qualidade do habitat disponível. Assim como a abundância, a biomassa de um riacho degradado deve ser menor do que em riachos de alta qualidade.

2.3 ELECTRE TRI

O Método ELECTRE TRI reportado por Yu (1992), Roy & Boyossou (1993) e Mousseau et al. (1999), pertence à família ELECTRE. Caracteriza-se por tratar de problemas específicos de classificação ordenada. Dado um conjunto de alternativas $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k, \dots, a_K\}$, associadas a um conjunto de categorias ou classes ordenadas $C = \{C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_{n+1}\}$, o método classifica cada alternativa a_k de A nas classes frente ao conjunto de critérios $F = \{g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_m\}$. As categorias são predefinidas, onde cada categoria é limitada por dois perfis adjacentes, sendo que cada perfil estabelece limites para

duas categorias adjacentes. Assim, o perfil 1 é o limite superior da categoria 1 e que por sua vez é o limite inferior da categoria 2 e assim por diante, (Herrera & Costa, 2001), (Figura 02). Pode-se considerar o ELECTRE TRI como sendo uma metodologia de designação multicritério.

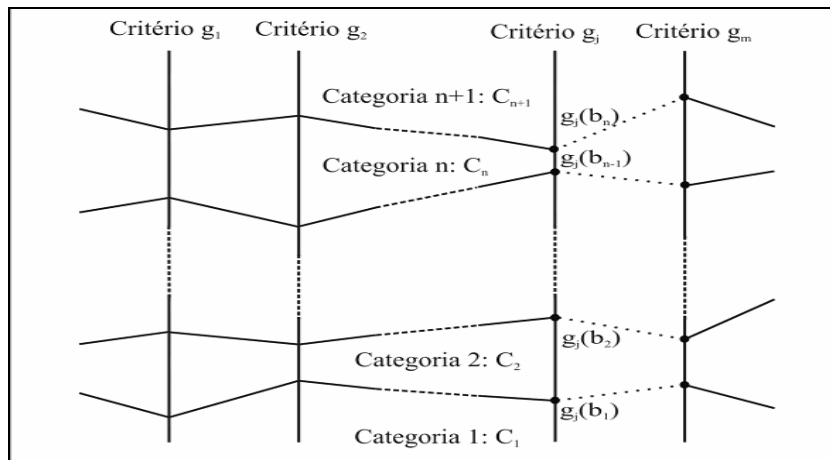


Figura 02 - Classes de equivalência no ELECTRE TRI, adaptado de (Herrera & Costa, 2001).

As classes C_i 's são delimitadas por limites inferiores e superiores, chamados de perfis e representados em $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$. As avaliações destes perfis para cada critério g_j , definem os conjuntos de valores, $\{g_j(b_1), \dots, g_j(b_n)\}$, $\forall j = 1, \dots, m$ que limitam as classes C_1, C_2, \dots, C_{n+1} .

Supondo que todos os critérios sejam de maximizar, a categoria C_{i+1} representa uma categoria melhor que a C_i , (Figura 02).

O ELECTRE TRI classifica as alternativas seguindo dois passos consecutivos: construção de uma relação de subordinação S , que caracteriza como as alternativas são comparadas aos perfis das classes; e, exploração (através de procedimentos de classificação) da relação S .

2.3.1 Relação de Subordinação no ELECTRE TRI

A relação de subordinação é construída para tornar possível a comparação de uma alternativa a_k com um limite padrão b_i . A afirmação de que $a_k S b_i$ $k = 1, \dots, K, i = 1, \dots, n$, significa que " a_k é ao menos tão boa quanto b_i ". Na validação da afirmação $a_k S b_i$ (ou $b_i S a_k$), devem-se verificar duas condições:

- Concordância: para que $a_k S b_i$ (ou $b_i S a_k$) seja aceita, uma maioria suficiente de critérios g_j deve ser a favor desta afirmação; e
- Não-discordância: quando a condição de concordância é verificada, nenhum dos critérios g_j na minoria deve se opor à afirmação $a_k S b_i$ (ou $b_i S a_k$), de uma "maneira muito forte".

Quatro tipos de parâmetros associados aos critérios intervêm na construção de S :

- O conjunto de coeficientes dos pesos ou importância $\{w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m, j = 1, \dots, m\}$, usado no teste de concordância quando se calcula a importância relativa dos critérios que são a favor da afirmação $a_k S b_i$; e

- O conjunto de limites de veto $\{v_j(b_i), i = 1, \dots, j\}$, para cada critério g_j . Usado no teste de discordância o veto $v_j(b_i)$, representa a menor diferença $g_j(b_i) - g_j(a_k)$ incompatível com a afirmação $a_k S b_i$.
- O conjunto de limites de preferência $\{p_j(b_i), i = 1, \dots, n\}$, para cada critério g_j . O limite de preferência $p_j(b_i)$, representa a menor diferença entre $g_j(a_k) - g_j(b_i)$ compatível com a preferência de a_k no critério g_j .
- O conjunto de limites de indiferença $\{q_j(b_i), i = 1, \dots, n\}$, para cada critério g_j . O limite de indiferença $q_j(b_i)$, especifica a maior diferença entre $g_j(a_k) - g_j(b_i)$ preservando a indiferença entre a_k e b_i no critério g_j .

Os seguintes passos são seguidos na obtenção desta relação:

- Cálculo do índice de concordância parcial $c_j(a_k, b_i)$ e $c_j(b_i, a_k)$;
- Cálculo do índice de concordância geral $c(a_k, b_i)$;
- Cálculo do índice de discordância parcial $d_j(a_k, b_i)$ e $d_j(b_i, a_k)$;
- Cálculo da relação de subordinação conforme o índice de credibilidade $\sigma(a_k, b_i)$; e
- Determinar um nível de corte λ para obter uma relação de subordinação, isto é: se $\sigma(a_k, b_i) \geq \lambda \Rightarrow a_k S b_i$.

O índice de concordância parcial $c_j(a_k, b_i)$ e $c_j(b_i, a_k)$, expressa até que ponto a afirmação a_k é ao menos tão boa quanto b_i e b_i é ao menos tão bom quanto a_k , respectivamente, considerando que o critério g_j é válido.

Se g_j é um critério que quanto maior o valor assumido na alternativa é melhor, $c_j(a_k, b_i)$ é calculado como se segue:

Se $g_j(a_k) \leq g_j(b_i) - p_j(b_i)$, então $c_j(a_k, b_i) = 0$

Se $g_j(b_i) - p_j(b_i) < g_j(a_k) \leq g_j(b_i) - q_j(b_i)$, $\Rightarrow c_j(a_k, b_i) = \frac{[g_j(a_k) - g_j(b_i) + p_j(b_i)]}{[p_j(b_i) - q_j(b_i)]}$

Se $g_j(b_i) - q_j(b_i) < g_j(a_k)$, então $c_j(a_k, b_i) = 1$

Se g_j é um critério que quanto maior o valor assumido na alternativa é melhor, $c_j(b_i, a_k)$ é calculado como se segue:

Se $g_j(a_k) \geq g_j(b_i) + p_j(b_i)$, então $c_j(b_i, a_k) = 0$

Se $g_j(b_i) + q_j(b_i) \leq g_j(a_k) < g_j(b_i) + p_j(b_i)$, $\Rightarrow c_j(b_i, a_k) = \frac{[g_j(b_i) - g_j(a_k) + p_j(b_i)]}{[p_j(b_i) - q_j(b_i)]}$

Se $g_j(a_k) < g_j(b_i) + q_j(b_i)$, então $c_j(b_i, a_k) = 1$

Se g_j é um critério que quanto menor o valor assumido na alternativa é melhor, $c_j(a_k, b_i)$ é calculado como se segue:

Se $g_j(a_k) \geq g_j(b_i) + p_j(b_i)$, então $c_j(a_k, b_i) = 0$

Se $g_j(b_i) + q_j(b_i) \leq g_j(a_k) \leq g_j(b_i) + p_j(b_i)$, $\Rightarrow c_j(a_k, b_i) = \frac{[g_j(b_i) - g_j(a_k) + p_j(b_i)]}{[p_j(b_i) - q_j(b_i)]}$

Se $g_j(a_k) < g_j(b_i) + q_j(b_i)$, então $c_j(a_k, b_i) = 1$

Se g_j é um critério que quanto maior o valor assumido na alternativa é melhor, $c_j(b_i, a_k)$ é calculado como se segue:

Se $g_j(a_k) \leq g_j(b_i) - p_j(b_i)$, então $c_j(b_i, a_k) = 0$

Se $g_j(b_i) - p_j(b_i) \leq g_j(a_k) < g_j(b_i) - q_j(b_i)$, $\Rightarrow c_j(b_i, a_k) = \frac{[g_j(a_k) - g_j(b_i) + p_j(b_i)]}{[p_j(b_i) - q_j(b_i)]}$

Se $g_j(a_k) > g_j(b_i) - q_j(b_i)$, então $c_j(b_i, a_k) = 1$

O índice de concordância global $c(a_k, b_i)$ expressa até que ponto as avaliações de a_k e b_i , em todos os critérios, estão de acordo com a afirmação “ a_k subordina b_i ”:

$$c(a_k, b_i) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j c_j(a_k, b_i)}{\sum_{j=1}^m w_j}, \quad i = 1, \dots, n \text{ e } k = 1, \dots, K$$

Analogamente,

$$c(b_i, a_k) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j c_j(b_i, a_k)}{\sum_{j=1}^m w_j}, \quad i = 1, \dots, n \text{ e } k = 1, \dots, K$$

O índice de discordância parcial $d_j(a_k, b_i)$ expressa até que ponto o critério g_j se opõe à afirmação “ a_k é ao menos tão boa quanto b_i ”, isto é, “ a_k subordina b_i ”. Um critério g_j é considerado discordante com a afirmação “ a_k subordina b_i ” se, neste critério, b_i é preferível à a_k . Neste caso de preferência crescente, o critério g_j se opõe a um veto quando a diferença $g_j(b_i) - g_j(a_k)$ excede ao limite de veto $v_j(b_i)$.

Se g_j é um critério que quanto maior o valor assumido na alternativa é melhor, $d_j(a_k, b_i)$ é calculado como se segue:

Se $g_j(a_k) > g_j(b_i) - p_j(b_i)$, então $d_j(a_k, b_i) = 0$

Se $g_j(b_i) - v_j(b_i) < g_j(a_k) \leq g_j(b_i) - p_j(b_i)$, $\Rightarrow d_j(a_k, b_i) = \frac{[g_j(b_i) - g_j(a_k) - p_j(b_i)]}{[v_j(b_i) - p_j(b_i)]}$

Se $g_j(b_i) - v_j(b_i) \geq g_j(a_k)$, então $d_j(a_k, b_i) = 1$

Se g_j é um critério que quanto maior o valor assumido na alternativa é melhor, $d_j(b_i, a_k)$ é calculado como se segue:

Se $g_j(a_k) \leq g_j(b_i) + p_j(b_i)$, então $d_j(b_i, a_k) = 0$

Se $g_j(b_i) + p_j(b_i) < g_j(a_k) \leq g_j(b_i) + v_j(b_i)$, $\Rightarrow d_j(b_i, a_k) = \frac{[g_j(a_k) - g_j(b_i) - p_j(b_i)]}{[v_j(b_i) - p_j(b_i)]}$

Se $g_j(b_i) + v_j(b_i) < g_j(a_k)$, então $d_j(b_i, a_k) = 1$

Se g_j é um critério que quanto menor o valor assumido na alternativa é melhor, $d_j(a_k, b_i)$ é calculado como se segue:

Se $g_j(a_k) \leq g_j(b_i) + p_j(b_i)$, então $d_j(a_k, b_i) = 0$

Se $g_j(b_i) + p_j(b_i) < g_j(a_k) \leq g_j(b_i) + v_j(b_i)$, $\Rightarrow d_j(a_k, b_i) = \frac{[g_j(a_k) - g_j(b_i) - p_j(b_i)]}{[v_j(b_i) - p_j(b_i)]}$

Se $g_j(a_k) > g_j(b_i) + v_j(b_i)$, então $d_j(a_k, b_i) = 1$

Se g_j é um critério que quanto maior o valor assumido na alternativa é melhor, $d_j(b_i, a_k)$ é calculado como se segue:

Se $g_j(a_k) > g_j(b_i) - p_j(b_i)$, então $d_j(b_i, a_k) = 0$

Se $g_j(b_i) - v_j(b_i) < g_j(a_k) \leq g_j(b_i) - p_j(b_i)$, $\Rightarrow d_j(b_i, a_k) = \frac{[g_j(b_i) - g_j(a_k) - p_j(b_i)]}{[v_j(b_i) - p_j(b_i)]}$

Se $g_j(a_k) \leq g_j(b_i) - v_j(b_i)$, então $d_j(b_i, a_k) = 1$

O índice de credibilidade $\sigma(a_k, b_i)$ da relação de subordinação $a_k S b_i$, expressa até que ponto “ a_k subordina b_i ” de acordo com o índice de concordância global $c(a_k, b_i)$ e com o índice de discordância $d_j(a_k, b_i)$, $j = 1, \dots, m$. Calculam-se os índices de credibilidade $\sigma(a_k, b_i)$, $i = 1, \dots, n$ e $\sigma(b_i, a_k)$ para estabelecer a relação de subordinação.

O cálculo do índice de credibilidade $\sigma(a_k, b_i)$ é obtido de acordo com os seguintes princípios:

1. Quando nenhum critério for discordante, a credibilidade da relação de subordinação $\sigma(a_k, b_i)$ é igual ao índice de concordância $c(a_k, b_i)$;

2. Quando um critério discordante se opõe ao veto para a afirmação “ a_k subordina b_i ” (i. é., $d_j(a_k, b_i) = 1$), então o índice de credibilidade $\sigma(a_k, b_i)$ torna-se nulo (a afirmação “ a_k subordina b_i ” não é totalmente acreditável); e

3. Quando um critério discordante é tal que $c(a_k, b_i) < d_j(a_k, b_i) < 1$, o índice de credibilidade $\sigma(a_k, b_i)$ torna-se menor do que o índice de concordância $c(a_k, b_i)$, devido ao efeito de oposição deste critério.

A conclusão deste princípio é de que o índice de credibilidade $\sigma(a_k, b_i)$ corresponde ao índice de concordância, enfraquecido por um eventual efeito de veto. Mais precisamente, o valor $\sigma(a_k, b_i)$ é calculado como se segue :

$$\sigma(a_k, b_i) = c(a_k, b_i) \prod_{j \in I} \frac{1 - d_j(a_k, b_i)}{1 - c(a_k, b_i)}, \text{ onde } I = \{j / d_j(a_k, b_i) > c(a_k, b_i)\}$$

A relação de subordinação S utiliza de um nível de corte- λ . λ é considerado como o menor valor do índice de credibilidade compatível com a afirmação de que " a_k subordina b_i ", se $\sigma(a_k, b_i) \geq \lambda \Rightarrow a_k S b_i$. Assim, são definidas relações binárias de preferência ($>$), indiferença (I) e incomparabilidade (R):

$$\begin{aligned} a_k I b_i &\Leftrightarrow a_k S b_i \text{ e } b_i S a_k; \\ a_k > b_i &\Leftrightarrow a_k S b_i \text{ e não } b_i S a_k; \\ a_k < b_i &\Leftrightarrow \text{não } a_k S b_i \text{ e } b_i S a_k; \text{ e} \\ a_k R b_i &\Leftrightarrow \text{não } a_k S b_i \text{ e não } b_i S a_k \end{aligned}$$

2.3.2 Procedimentos de Classificação

Supondo que todos os critérios sejam de maximizar, a regra do procedimento de exploração é realizada para analisar o modo em que uma alternativa a_k é comparada com os limites padrão determinados para a classe na qual a_k deve ser enquadrada. Dois procedimentos de classificação são avaliados.

1º) O procedimento de classificação pessimista (ou conjuntivo) é descrito a seguir:

a. Comparar a_k sucessivamente com b_i , para $i = n, n-1, \dots, 1$.

b. Se b_i é o primeiro limite padrão tal que $a_k S b_i$, classifica-se a_k para a classe $C_{i+1}(a_k \rightarrow C_{i+1})$.

Se b_i e b_{i+1} denotam os limites inferior e superior da classe C_{i+1} , o procedimento pessimista classifica a alternativa a_k para a classe C_{i+1} tal que a_k subordine b_i , isto é, $a_k S b_i$. Quando se utiliza este procedimento com $\lambda = 1$, uma alternativa a_k pode ser enquadrada na classe C_{i+1} somente se $g_j(a_k)$ for igual ou exceder $g_j(b_i)$ (pela soma dos limites), para todos os critérios (regra conjuntiva). Quando λ decresce, o caráter conjuntivo desta regra é enfraquecido, isto é, pode acontecer que $g_j(a_k) < g_j(b_i)$ e ainda $a_k \in C_{i+1}$.

2º) O procedimento de classificação otimista (ou disjuntivo) é descrito a seguir:

a. Comparar a_k sucessivamente com $b_i, i = 1, 2, \dots, n$; e

b. Que b_i seja o primeiro perfil tal que $b_i > a_k$, classificando a_k na classe $C_i(a_k \rightarrow C_i)$.

O procedimento otimista (ou disjuntivo) classifica a_k para a mais baixa classe C_i para a qual o limite superior de b_i é preferível a a_k , i. é, $b_i > a_k$. Quando se utiliza este procedimento com $\lambda = 1$, uma alternativa a_k pode ser classificada na classe C_i quando $g_j(b_i)$ exceder $g_j(a_k)$ (pela soma dos limites) ao menos para um critério (regra disjuntiva). Quando λ decresce, o caráter disjuntivo desta regra é fraco.

3º) Comparação entre os dois procedimentos de classificação:

Sendo estes dois procedimentos diferentes, conseqüentemente, pode ocorrer a classificação de algumas alternativas em diferentes classes.

Suponha-se que uma alternativa a_k é classificada em C_i pelo procedimento de classificação pessimista e C_j pelo procedimento otimista, respectivamente. Espera-se:

- Que C_i seja inferior ou igual a $C_j (i \leq j)$; e
- Que C_i seja inferior a C_j quando a_k é incomparável com todos os limites entre C_i e C_j ($aRb_t, \forall f$, tal que $i < f \leq j$).

Quando as avaliações de uma alternativa ficarem entre os dois limites de uma classe em cada critério, então, ambos os procedimentos classificam esta alternativa para esta classe; e uma divergência entre os resultados dos dois procedimentos de classificação ocorre somente quando uma alternativa é incomparável para um ou vários limites. Em tais casos, a regra de classificação pessimista classifica a alternativa na classe inferior a da otimista.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a análise dos dados referentes aos nove bimestres de coleta e a aplicação dos métodos do Índice de Integridade Biótica e do Multicritério Electre Tri, os resultados de cada um dos parâmetros analisados são apresentados a seguir:

3.1 COMUNIDADE DE PEIXES

Quanto ao número de espécies nativas, nas estações Ajuricaba/Nascente e Curvado/Foz, ocorreu uma leve predominância, com 25 espécies nativas em ambas as estações (tabela 03). Quanto ao número de espécies bentônicas, as estações que obtiveram capturas maiores foram, Ajuricaba/Nascente (11) e Arroio Fundo/Foz (11), enquanto que na estação Curvado/Nascente ocorreu o menor número dessas espécies (7) (tabela 03).

As espécies indicadoras classificadas como intolerantes tiveram uma presença maior nas estações Arroio Fundo/Foz (7) e Curvado/Foz (7), que na estação Arroio Fundo/Nascente, onde foram observadas 4 espécies. Outro critério avaliado para as espécies indicadoras foi à proporção de espécies tolerantes; que foram mais capturadas na estação Arroio Fundo/Nascente (83%) e menos capturas na estação Curvado/Foz (72%) (tabela 03).

Quanto ao hábito alimentar das espécies capturadas a proporção de espécies generalistas, onívoros e invertívoros, foi maior nas estações Arroio Fundo/Nascente (70%) e Ajuricaba/Foz (55%). Entre as espécies carnívoras, a maior abundância foi observada na estação Ajuricaba/Foz (23%) e menor na estação Arroio Fundo/Foz (12%), enquanto que as espécies insetívoras apresentaram maior predominância nas estações Ajuricaba/Foz (23%) e Arroio Fundo/Foz (23%) e menor predominância na estação Ajuricaba/Nascente (15%) (tabela 03).

Quanto à abundância entre as estações de amostragem, em número de indivíduos houve maior captura na estação Curvado/Nascente (6), enquanto que em Biomassa, as estações Ajuricaba/Nascente (93,35 g/m²) e Curvado/Nascente (67,28 g/m²), foram responsáveis pelas maiores capturas (tabela 03).

Tabela 03 - Dados das amostras por Riacho/Estação de Amostragem

Parâmetros	Riachos/Estações de Amostragens – N: Nascente, F: Foz
------------	---

Composição e riqueza de espécies	Ajuricab a/N	Ajuricab a/F	Arroio Fundo/N	Arroio Fundo/F	Curvado /N	Curvado /F
Nº de espécies nativas	25	22	21	24	22	25
Nº de espécies bentônicas	11	8	9	11	7	10
Espécies Indicadoras						
Nº espécies intolerants	5	6	4	7	5	7
Proporção de espécies tolerantes (%)	81	73	83	73	79	72
Composição Trófica						
Proporções de espécies generalistas, onívoros e invertívoros (%)	65	55	70	65	63	68
Proporção de espécies carnívoras (%)	19	23	13	12	17	16
Proporção de espécies insetívoras (%)	15	23	17	23	21	16
Abundância						
Nº de indivíduo/m ²	5	5	5	4	6	4
Biomassa(gr)/m ²	93,35	26,55	51,75	25,95	67,28	31,94

3.2 RESULTADOS DO ÍNDICE DE INTEGRIDADE BIÓTICA

O IIB foi calculado para cada riacho, considerando as duas estações de amostragem, sendo que o padrão de referência utilizado, foi do trabalho de Agostinho et al., (2004), que trata dos valores específicos para o rio Paraná, sendo retiradas as espécies de grande porte, sendo que a tabela 04 informa as pontuações utilizadas em função das informações (y) obtidas das amostras. Para a implementação do IIB foi utilizado um aplicativo desenvolvido em MATLAB.

Cada local a_k é avaliado em relação a cada g_j , sendo que $g_j(a_k) = y$ pode assumir os valores 5, 3 ou 1, conforme tabela 04.

O cálculo do IIB para um determinado local foi realizado pela seguinte fórmula:

$$IIB(a_k) = g_1(a_k) + g_2(a_k) + \dots + g_9(a_k)$$

Tabela 04 - Referência utilizada para determinar o Índice de Integridade Biótica

Categoria	Pontuação		
	5	3	1
Composição e riqueza de espécies			
g_1 . Nº de espécies Nativas	≥ 52	$22 \leq y < 52$	< 22
g_2 . Nº de espécies Bentônicas	≥ 20	$8 \leq y < 20$	< 8
Espécies Indicadoras			
g_3 . Nº de espécies intolerantes	≥ 18	$8 \leq y < 18$	< 8
g_4 . Proporção de espécies tolerantes	≤ 41	$41 < y \leq 95$	> 95
Composição Trófica			
g_5 . Proporção de espécies generalistas, onívoros e invertívoras	≤ 38	$38 < y \leq 90$	> 90
g_6 . Proporção de espécies carnívoras	≥ 25	$11 \leq y < 25$	< 11
g_7 . Proporção de espécies insetívoras	≥ 25	$11 \leq y < 25$	< 11
Abundância			
g_8 . Nº de indivíduos/m ²	≥ 14	$6 \leq y < 14$	< 6
g_9 . Biomassa/m ²	≥ 139	$59 \leq y < 139$	< 59

De acordo com o índice de integridade biótica, as estações Ajuricaba/Nascente e Curvado/Nascente foram classificadas como locais regulares (Figura 03), ou seja, em média, os atributos situam-se entre 10 e 50%, em relação à situação ideal para os ambientes, além disso, possuem mais abrigos e uma faixa considerável de mata, o que facilita a alimentação dos peixes e a preservação do mesmo.

Os outros locais avaliados (Ajuricaba/Foz, Arroio Fundo/Nascente, Arroio Fundo/Foz e Curvado/Foz), ficaram classificados como pobres, (Figura 03), ou seja, há um significativo desvio da condição de referência, com muitos aspectos da integridade biológica distantes da situação minimamente impactada, sendo que em média os atributos estão abaixo de 10% da condição referência.

Além disso, a estação Arroio Fundo/Nascente ficou com índice menor do que todas as outras nascentes. Isto se justifica pelo fato de que neste ponto de coleta, há um clube de recreação em suas redondezas, sendo este local utilizado para lazer, fazendo com que essas atividades exerçam forte pressão sobre os recursos naturais, causando assim, um impacto maior ao ambiente.

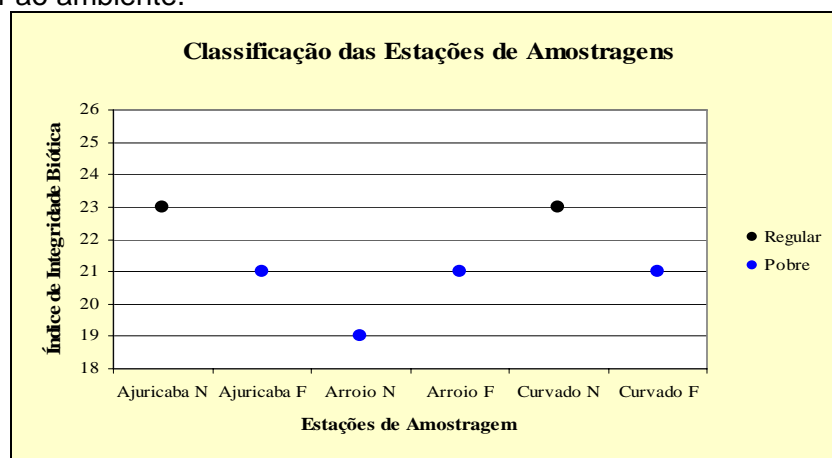


Figura 03 - Classificação das Estações de Amostragens, usando o Índice de Integridade Biótica.

3.3 ELECTRE TRI

Os critérios utilizados no método ELECTRE TRI, foram os mesmos utilizados no cálculo do IIB, sendo que foram consideradas quatro categorias de qualidade ambiental, Bom, Regular, Pobre e Muito Pobre, limitadas por perfis b_i 's. Para cada critério g_j , estes perfis assumem os valores $g_j(b_i)$.

Foram definidos ainda, os limiares de indiferença, preferência, veto e peso para cada critério analisado, comparados às alternativas com três perfis de referência. A tabela 05 mostra esses parâmetros, que foram determinados a partir da análise dos valores de cada critério, sendo os perfis encontrados a partir da literatura citada anteriormente. O procedimento de classificação de cada estação de amostragem foi efetuado por um aplicativo desenvolvido em ambiente MATLAB.

Tabela 05 - Limiares e perfis utilizados no ELECTRE TRI

	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9
Peso w_j	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Limite indiferença $q_j(b_1)$	3	2	2	1	1	3	3	3	6
Limite indiferença $q_j(b_2)$	1	1	0	3	3	2	2	0	0
Limite indiferença $q_j(b_3)$	0	0	0	3	3	0	0	0	0
Limite de preferência $p_j(b_1)$	4	3	3	2	2	4	4	4	7
Limite de preferência $p_j(b_2)$	2	2	1	5	5	3	3	1	1
Limite de preferência $p_j(b_3)$	1	1	1	5	5	1	1	1	1
Veto $v_j(b_i), \forall i$	30	12	10	54	52	14	14	8	80
Perfil $g_j(b_1)$	22	8	8	-95	-90	11	11	6	59
Perfil $g_j(b_2)$	37	14	13	-68	-64	18	18	10	99
Perfil $g_j(b_3)$	52	20	18	-41	-38	25	25	14	139

g_1 = N° de espécies nativas, g_2 = N° de espécies bentônicas, g_3 = N° espécies intolerantes, g_4 = Proporção de espécies tolerantes, g_5 = Proporção de espécies generalistas, onívoros e invertívoros, g_6 = Proporção de espécies carnívoras, g_7 = Proporção de espécies insetívoras, g_8 = N° de indivíduo/m² e g_9 = Biomassa/m².

3.4 RESULTADOS DO MÉTODO ELECTRE TRI PARA UM NÍVEL DE CORTE $\lambda \leq 0,66$

Para níveis de credibilidade ($\lambda \leq 0,66$) não foram identificadas incomparabilidades, o que indica que o sistema mostrou-se coerente na busca da classificação das alternativas para estes níveis de credibilidade, conforme Tabela 06.

Tabela 06 - Resultado da relação de preferência para $(\lambda \leq 0,66)$

	b_1	b_2	b_3
a_1	>	<	<
a_2	>	<	<
a_3		<	<
a_4	>	<	<
a_5	>	<	<
a_6	>	<	<

Onde (>) significa que $a_k S b_i$ e $\sim b_i S a_k$, (<) significa que $\sim a_k S b_i$ e que $b_i S a_k$ e (|) $a_k S b_i$ e $b_i S a_k$. As classificações encontradas no ELECTRE TRI (Tabela 07), quando das duas formas (Otimista e Pessimista), convergem. Isto quer dizer que o sistema construído foi capaz de estabelecer as comparações das alternativas aos perfis. A divergência entre estas classificações para uma das alternativas indica uma incapacidade do sistema de comparar esta alternativa à pelo menos um dos limites de classes.

Tabela 07 - Classificação das estações de amostragens (ELECTRE TRI), $\lambda \leq 0,66$

Estação de amostragem	Classificação Otimista	Classificação Pessimista	Classificação final
Ajuricaba N	Pobre	Pobre	Pobre
Ajuricaba F	Pobre	Pobre	Pobre
Arroio Fundo N	Pobre	Pobre	Pobre
Arroio Fundo F	Pobre	Pobre	Pobre
Curvado N	Pobre	Pobre	Pobre
Curvado F	Pobre	Pobre	Pobre

Verificamos que todas as estações foram classificadas como Pobre, uma vez que o método de multicritério aplicado neste trabalho é um método de avaliação não-compensatória, ou seja, este método se distingue do índice de integridade biótica. Outra diferença importante em relação a outros métodos é que a metodologia proposta classifica os riachos de acordo com o desempenho em um maior número de critérios e um desempenho péssimo em apenas um critério pode desclassificar o riacho.

3.5 COMPARAÇÃO ENTRE O IIB E O ELECTRE TRI PARA VÁRIOS NÍVEIS DE CORTE

Uma comparação entre o IIB e o ELECTRE TRI, para diferentes níveis de cortes é apresentada na tabela 08. Para o ELECTRE TRI foi considerada a classificação final como sendo um perfil mais exigente pelo decisor, ou seja, classificação pessimista.

Observou-se que a medida em que aumenta a exigência do nível de corte a classificação das estações de amostragem tende a piorar. Percebeu-se também que as classificações do ELECTRE TRI tendem a ser iguais ou inferiores ao IIB, uma vez que o ELECTRE TRI não faz compensação nas avaliações dos critérios.

Tabela 08 - Comparação entre o IIB e o ELECTRE TRI

	Ajuricaba N	Ajuricaba F	Arroio Fundo N	Arroio Fundo F	Curvado N	Curvado F
IIB	Regular	Pobre	Pobre	Pobre	Regular	Pobre
ELECTRE TRI $\lambda \leq 0,66$	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
$0,67 \leq \lambda \leq 0,77$	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
$0,78 \leq \lambda \leq 0,88$	Pobre	Pobre	Muito Pobre	Pobre	Pobre	Pobre

3.6 ANÁLISE DE ROBUSTEZ

A análise de robustez foi realizada variando-se os parâmetros de indiferença, preferência, veto e o nível de corte λ , verificando-se dessa maneira se houveram variações significativas na classificação final.

a. Limiar de Indiferença (q)

Os limiares de indiferença foram variados de zero até o valor do limiar de preferência (p), (tabela 05). Os resultados mostraram-se iguais aos da tabela 07 para um nível de corte $0,50 \leq \lambda \leq 0,66$. Para a mesma variação de q para um nível de corte $0,67 \leq \lambda \leq 0,77$ houve uma divergência de classificação para a estação Ajuricaba/Foz: classe Regular, sob ótica otimista e classe Pobre sob a ótica pessimista (Tabela 09). Esta dupla classificação indica uma incomparabilidade. Isto significa que o sistema de classificação precisa ser reavaliado, caso seja estritamente necessária uma convergência entre as classificações otimista e pessimista para esta estação. Podendo o decisor optar por uma das duas classificações de acordo com o seu perfil mais exigente (pessimista) ou menos exigente (otimista), neste caso optaremos pela a classificação mais exigente.

Tabela 09 - Classificação das estações de amostragens (ELECTRE TRI), $0,67 \leq \lambda \leq 0,77$

Estação de amostragem	Classificação Otimista	Classificação Pessimista	Classificação final
Ajuricaba N	Pobre	Pobre	Pobre
Ajuricaba F	Regular	Pobre	Pobre
Arroio Fundo N	Pobre	Pobre	Pobre
Arroio Fundo F	Pobre	Pobre	Pobre
Curvado N	Pobre	Pobre	Pobre
Curvado F	Pobre	Pobre	Pobre

E ainda para um nível de corte $0,78 \leq \lambda \leq 0,88$ houve uma divergência de classificação em duas estações (Tabela 10). A estação Ajuricaba/Foz foi classificada na classe Regular, para o perfil otimista e na classe Pobre, para o perfil pessimista, e a estação Arroio Fundo/Nascente foi classificada na classe Pobre, para o perfil otimista e na classe Muito Pobre, para o perfil pessimista. Havendo assim, uma incomparabilidade nas duas estações. Como já citado anteriormente, para o presente trabalho foi considerado um perfil mais exigente, classificando assim as duas estações no perfil pessimista.

Tabela 10 - Classificação das estações de amostragens (ELECTRE TRI), $0,78 \leq \lambda \leq 0,88$

Estação de amostragem	Classificação Otimista	Classificação Pessimista	Classificação final
Ajuricaba N	Pobre	Pobre	Pobre
Ajuricaba F	Regular	Pobre	Pobre
Arroio Fundo N	Pobre	Muito Pobre	Muito Pobre
Arroio Fundo F	Pobre	Pobre	Pobre
Curvado N	Pobre	Pobre	Pobre
Curvado F	Pobre	Pobre	Pobre

b. Limiar de preferência (p)

Os limiares de preferência foram variados da seguinte forma:

a) Quando o limiar de preferência assume o próprio limiar de indiferença para um nível de corte $0,50 \leq \lambda \leq 0,77$ os resultados ficaram iguais os da tabela 07. Para um nível de corte $0,78 \leq \lambda \leq 0,88$, houveram incomparabilidades nas estações Ajuricaba/Foz e Arroio Fundo/Nascente. As outras estações (Ajuricaba/Nascente, Arroio Fundo/Foz, Curvado/Nascente e Curvado/Foz), ficaram classificadas como Pobre (Tabela 11).

Tabela 11 - Classificação das estações de amostragens (ELECTRE TRI), $0,78 \leq \lambda \leq 0,88$

Estação de amostragem	Classificação Otimista	Classificação Pessimista	Classificação final
Ajuricaba N	Pobre	Pobre	Pobre
Ajuricaba F	Regular	Muito Pobre	Muito Pobre
Arroio Fundo N	Pobre	Muito Pobre	Muito Pobre
Arroio Fundo F	Pobre	Pobre	Pobre
Curvado N	Pobre	Pobre	Pobre
Curvado F	Pobre	Pobre	Pobre

b) Quando o limiar de preferência assume o limiar de veto (Tabela 05), para um nível de corte mais exigente, $0,70 \leq \lambda \leq 0,93$, todas as estações ficaram classificadas como Pobre, não havendo incomparabilidade em nenhuma das estações.

c. Limiar de veto (v)

Para variação do limiar de veto, utilizou-se os mesmos limiares da tabela 05, sendo que em um primeiro passo, usou-se 50% de cada valor. Este procedimento foi implementado para cada alteração de v_j testando assim a sua robustez para diferentes níveis de corte. Para este procedimento não se mostram alterações nas classificações das estações, mantendo as mesmas classificações de v_j .

Outro procedimento adotado foi diminuir ainda mais os limiares de veto, então os v_j 's foram divididos por três e verificado as classificações das estações para cada alteração de v_j . Os únicos v_j 's que se mostram com classificações diferentes, foram v_3, v_6, v_7, v_9 . Isto significa que se o decisor for muito exigente em relação ao veto podem ocorrer mudanças na classificação final.

4. CONCLUSÕES

Para o presente trabalho foi utilizado uma metodologia de multicritério para avaliação da qualidade ambiental de riachos. Podemos perceber durante a pesquisa que este método pode ser muito útil para este tipo de trabalho, pois uma vez comparado com as classificações do Índice de Integridade Biótica, o método não se distanciou muito destas classificações. O IIB é bem mais simples de ser aplicado, mas não permite fazer algumas interpretações nos dados que o ELECTRE TRI permite.

Nas duas estações Ajuricaba/Nascente e Curvado/Nascente, melhores classificadas pelo Índice de Integridade Biótica, o número de espécies nativas e a biomassa/m² tiveram valores significativos, mostrando portanto, que esses dois parâmetros são importantes para avaliação da qualidade do manancial, segundo este método, pois, uma vez que a presença ou ausência de espécies nativas é um indicativo de boa qualidade ou degradação do habitat e a biomassa/m² que um riacho pode acomodar, está em função da quantidade e qualidade do habitat disponível no riacho, sendo que a abundância é menor em riachos degradados do que em riachos de alta qualidade. De maneira geral, esperam-se peixes maiores e mais abundantes em riachos de alta qualidade, sendo que a presença de indivíduos maiores de uma espécie, indica que o riacho provavelmente apresente boa qualidade.

No método ELECTRE TRI os resultados de classificação dependem das funções de preferência, indiferença, veto e do grau de importância (vetor de pesos) dado a cada critério, isto é, esses parâmetros modelam a maneira de pensar e de decidir do responsável pela análise e vão de acordo com cada especialista. Isto indica que o método ELECTRE TRI tende a dar resultados mais confiáveis que o proposto por Karr, pois além de não ser compensatório como o IIB, representa melhor a realidade.

A análise de robustez mostrou que os valores determinados para o peso dos critérios, limiar de indiferença, limiar de preferência e limiar de veto são adequados. Isto

porque, quando foram variados os limiares, foram obtidos valores iguais ou similares aos já encontrados, reforçando a hipótese de que este método, para este caso de classificação, varia de acordo com a preferência de cada decisor, sendo mais exigente ou não. Uma das vantagens do método ELECTRE TRI é que ele permite trabalhar com erros, uma vez que os dados são amostrais. E ainda uma má avaliação em um índice, pode ser suficiente para indicar a má qualidade do ambiente, o que não aconteceu durante esta pesquisa. Uma desvantagem deste método é que ele é muito técnico, tendo o decisor que ter uma boa experiência, para identificar os seus limiares.

Portanto, fazendo uma comparação entre as duas metodologias utilizadas podemos classificar os riachos da seguinte forma:

- Os riachos Ajuricaba e Curvado como Pobre, pois mesmo quando aumentado a exigência de corte λ não teve alterações significativas em nenhuma das estações;
- O riacho Arroio Fundo classificado como Muito Pobre, pois quando aumentou-se a exigência de λ (nível de corte) a estação nascente ficou classificada como Muito Pobre, sendo que o mesmo aconteceu com o IIB, que nesta estação deu menor do que na estação Foz, reforçando a hipótese de que, como o ponto de coleta Arroio Fundo/N é usado para recreação, isto pode ter influenciado em uma classificação pior do que os outros dois riachos.

Enfim, o uso da metodologia de multicritério ELECTRE TRI para avaliação da qualidade ambiental de riachos é adequada para qualquer riacho, podendo ainda ser utilizados outros parâmetros.

Os três riachos estudados precisam de cuidados, principalmente no que se refere à preservação do ecossistema, o uso correto do solo pela agricultura, sendo que o constante acompanhamento e monitoramento da comunidade ictíca desses ambientes é de fundamental importância, uma vez que a ictiofauna destes riachos influencia na ictiofauna da bacia formadora.

5. REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A., RODRIGUES, L., GOMES, L. C., THOMAZ, S. M., MIRANDA, L. E. **Structure and functioning of the Paraná River and its floodplain**. EDUEM. Maringá, PR, 2004.

AMBIENTE BRASILEIRO. **A bacia do Prata**. In: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agua/doce/index.html&conteudo=./agua/doce/bacias.html#prata>. Acessado em agosto de 2006.

GERPEL/UNIOESTE/ITAIPU BINACIONAL. **Monitoramento dos parâmetros limnológicos e ictiológicos da sub bacia do rio São Francisco Verdadeiro**. (relatório técnico), 2005.

HERRERA, W. D. M. & COSTA, H. G. Contribuições da análise multicritério à obtenção de graus de proximidade no projeto de arranjos físicos. **Produto & Produção**, v. 5, n. 3, p. 48-60, 2001.

KARR, J. R. Assessment of biotic integrity using fish communities. **Fisheries**, v.6, n.6, p.21-27, 1981.

KARR, J. R., FAUSCH, K. D., ANGERMIER, P. L., YANT, P. R., SCHLOSSER, I. J. Assessing biological integrity in running waters, a method and its rationale. III. **Nat. Hist. Surv. Spec. Public.**, v. 5, Urbana, IL., USA, p. 28, 1986.

MOSSEAU, V., SLOWINSK, R., ZIELNIEWICZ, P. Electre Tri 2.0a Methodological Guide and User's Manual. **Document Du Lamsade**. Université Paris, Dauphine, 1999.

ROTH, N. E., SOUTHERLAND, M. T., CHAILLOU, J. C., KAZYAK, P. F., STRANKO, S. A. **Refinement and validation of a fish index of integrity for Maryland streams**. Prepared by Versar INC. and Maryland Department of Natural Resources. Monitoring and Non-Tidal Assessment Division. Annapolis. Maryland, 2000.

ROY, B. & BOUYSSON, D. **Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et cās**. Ed. Economica, Paris, France, 1993.

SCHAFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

YU, W. ELECTRE TRI Aspects Methodologiques et Guide d' Utilisation. **Document Du Lamsade**. France: Université Paris – Dauphine, 1992.

Comparison between the index of biotic integrity and a method of multicriteria for analysis of the environmental quality of three streams tributaries to the of Itaipu reservoir

Cleodimar Fernandes, cleodimarf@hotmail.com

Universidade Federal do Paraná (UFPR), Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia,
Curitiba, PR, Brasil.

Neida Maria Patias Volpi, nmpv@mat.ufpr.br

Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Matemática da UFPR, Curitiba, PR, Brasil

Gilmar Baumgartner, baum@unioeste.br

Grupo de Pesquisa em Recursos Pesqueiros e Limnologia (UNIOESTE), Toledo, PR, Brasil.

*Received: February, 2007 / Accepted: August, 2007

ABSTRACT

The human activities have been exercising deep and, usually, negative influence on the water bodies. Some negative effects are due to the pollutant while others are associated to the hydrology changes of the basin, habitat modifications and energy sources alterations. In many situations the decision about the environmental involves selection of alternatives, events or actions. However, those decisions usually, have conflicting point of view and different judgments, forcing the researcher to decide without enough technical base and so, many times inducing wrong decisions. Based on the exposed above, the objective of this research was to present a multicriteria method (ELECTRE TRI) to evaluate the environmental quality of streams and to compare with the Index of Biotic Integrity (IBI); both methods were applied in tributaries of the Itaipu Reservoir (Ajuricaba, Arroio Fundo and Curvado rivers), using fish communities as indicator. According the results was verified that the choice of the multicriteria method for this type of study is valid, because when compared with the Index of Biotic Integrity the results were not so different. Besides, the ELECTRE TRI being a method that evaluates the criteria groups to classify the streams represents better the reality when compared with the Index of Biotic Integrity because it is a non-compensatory method.

Keywords: ELECTRE TRI, Index of Biotic Integrity, environmental quality.
