

Análise estrutural por meio da metodologia MICMAC aplicada à gestão dos recursos hídricos – o caso da região hidrográfica da UHE Lajeado na bacia do rio Tocantins, Brasil

Fernán Enrique Vergara
Oscar de Moraes Cordeiro Netto

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar aplicação da metodologia de análise estrutural MICMAC (Matriz de impactos Cruzados – Multiplicação aplicada à Classificação) a um caso de estudo em gestão dos recursos hídricos na região hidrográfica da UHE Lajeado na bacia do rio Tocantins, Brasil.

Esse método possibilita promover processo de planejamento estratégico do aproveitamento de recursos hídricos, a partir da consideração de uma dada região ou bacia hidrográfica como um sistema, descrito por variáveis, que interage com outros sistemas e suas variáveis, avaliando-se como essas variáveis se comportam e interagem entre si.

Caracterizaram-se, para o caso em questão, onze variáveis, classificadas em motrizes, de ligação, independentes e dependentes, analisando o comportamento de cada uma delas no sistema hídrico em estudo. Conclui-se que o sistema em estudo sofre uma grande influência de outros sistemas, já que a maioria das variáveis motrizes são externas. Como a disponibilidade hídrica não é condicionante para essa região, a qualidade da água se apresentou como a variável que melhor pode descrever a condição do sistema hídrico, como era esperado.

Considera-se que o método proposto mostra-se pertinente para o processo de auxílio à decisão na gestão dos recursos hídricos, pois permite a representação adequada do sistema, evidenciando relações entre variáveis e questões, que poderiam não ser percebidas, caso se optasse por uma abordagem não estruturada de representação de sistemas. Deve-se considerar, no entanto, a subjetividade na seleção dos dados de entrada e na análise dos resultados, assim como a emissão de juízos de valor inerentes ao método.

PALAVRAS CHAVE: Análise estrutural, MICMAC.

ABSTRACT: The objective of this paper is to describe the application of the method of structural analysis MICMAC (Cross-Impact Matrix – Multiplication Applied to Classification) to a water resources management case study in the hydrographic region of the Lajeado hydroelectric plant located in the Tocantins basin (Brazil).

This method contributes to implementing strategic planning for the use of water resources by classifying a given region or hydrographic basin as a system - described by variables - which interacts with other systems and their own variables, by evaluating the relationship and interactions between these variables.

In the current case study, eleven variables, classified by motricity indexes, with independent and dependent linkages, have been identified to analyze the relationship of each of them in the water system under study. The experience showed that the system under study is strongly influenced by other systems, considering that most of the independent variables are external. Since water availability is not presently an issue in the region under examination, water quality has proved to be the variable which can best describe the water system condition, as expected.

The proposed method is considered a proven tool for decision support systems in water resources management, as it adequately represents the system and shows the correlation between variables and other issues, which could have gone unnoticed if a non-structured system representation approach had been used. However, it is important to account for the subjective factor used during the selection of input data and results analysis, as well as for making value judgments inherent to the method.

KEYWORDS: structural analysis, MICMAC

INTRODUÇÃO

O planejamento do aproveitamento dos recursos hídricos pode ser estudado por meio de uma análise sistêmica, considerando o sistema hídrico como um sistema-objeto, que tem suas relações próprias (variáveis que interagem entre si) e que ao mesmo tempo interage com outros sistemas. Sob essa perspectiva, faz-se necessário conhecer os componentes desses sistemas, assim como suas possíveis relações, tanto no âmbito do sistema hídrico como no âmbito de sua relação com outros sistemas.

Chiavenato (2003) apresenta um modelo básico de planejamento estratégico, a partir da análise do ambiente interno, nesse caso, o sistema-objeto em estudo, e do seu ambiente externo. Entende-se por ambiente interno o conjunto de variáveis, assim como as suas interações entre si, que compõem o sistema-objeto em estudo. O ambiente externo é formado pelo conjunto de sistemas, com suas respectivas variáveis, que, de alguma forma, interagem influenciando ou sendo influenciados pelo comportamento do sistema-objeto em estudo.

No caso da Gestão dos Recursos Hídricos, o ambiente interno pode ser caracterizado pelas variáveis físicas, como as geológicas, hidrológicas e climatológicas, pelas físico-químicas da água e pelas biológicas da fauna e flora associada, que irão indicar o estado ecológico e a disponibilidade hídrica da região de estudo. O ambiente interno ainda é caracterizado pelos usos dos recursos hídricos e seus respectivos usuários que são os que caracterizam a demanda pelos recursos hídricos dentro do sistema. Finalmente, faz parte do sistema interno, também, o sistema institucional responsável pela Gestão dos Recursos Hídricos, nos âmbitos Federal, Estadual e de bacias.

O ambiente externo se caracteriza por aqueles sistemas que interagem, de alguma forma, com o sistema hídrico em estudo. Aqui, pode-se citar o sistema econômico, que influencia diretamente o

desempenho dos usuários e, conseqüentemente, a demanda por água, o sistema político, que elabora as políticas setoriais que podem favorecer ou não determinados setores usuários, provocando impactos sobre os recursos hídricos, o sistema legal, que elabora leis que não necessariamente estão relacionadas com os recursos hídricos, mas podem gerar algum tipo de impacto sobre eles, a sociedade civil, que pode considerar os recursos hídricos como um recurso a ser preservado ou a ser explorado de forma mais intensa, decisão essa que pode se refletir no sistema político por meio de ações e no sistema legal por meio de leis e, também, o sistema de meio ambiente, esse último podendo ser representado, principalmente, pelo uso e ocupação do solo que, dependendo de como ocorrerá, pode provocar sérios impactos aos corpos hídricos.

Para a compreensão do comportamento das variáveis que compõem um sistema-objeto, Godet (1993) apresenta a metodologia de análise estrutural MICMAC, (Matriz de Impactos Cruzados – Multiplicação aplicada à Classificação). Esse método tem por objetivo analisar as variáveis internas que formam o sistema-objeto. Nesse caso, o sistema é composto pelos recursos hídricos, assim como as variáveis externas, que, de alguma forma, interagem com o sistema em estudo. Marcial e Grumbach (2004) também descrevem esse método.

O caso de estudo aqui apresentado foi realizado utilizando o aplicativo MICMAC¹, desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Estratégia Prospectiva e Organizacional (LIPSOR, 2004) e aplicado à região hidrográfica da Usina Hidrelétrica do Lajeado no rio Tocantins, no estado do Tocantins.

METODOLOGIA

Para o método de análise estrutural MICMAC, selecionam-se as variáveis consideradas mais importantes para a descrição do sistema-objeto. O método

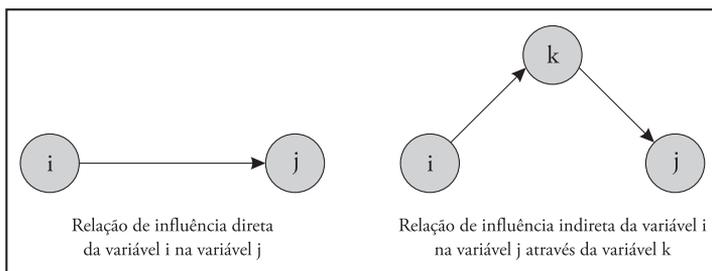


FIGURA 1. Relação direta e indireta de variáveis pelo método MICMAC (adaptado de Godet, 1993).

MICMAC permite uma hierarquização de variáveis em função da influência direta e indireta que cada variável exerce sobre outra, como pode ser verificado na figura 1.

Outra informação que pode ser obtida por meio do método MICMAC é o comportamento das variáveis em estudo quanto à sua motricidade e à sua dependência no interior do sistema. A motricidade de uma variável indica o quanto essa variável consegue impor seu comportamento em relação às outras variáveis do sistema: uma variável com alta motricidade tende a reger o desempenho do sistema a qual pertence ou com o qual interage. A dependência indica o quanto a variável em questão sofre influência no seu comportamento em relação às outras variáveis: o comportamento de uma variável com alta dependência pode ser um indicativo do desempenho das variáveis com alta motricidade. Pode-se dizer que a motricidade e a dependência guardam uma relação de causa e efeito.

Esses comportamentos podem ser descritos com o apoio da seguinte classificação das variáveis:

-  **Motrizes:** são variáveis de força, que regem os acontecimentos futuros;
-  **Dependentes:** são aquelas que sofrem influência das variáveis motrizes; seu comportamento vai depender do desempenho das motrizes;
-  **De Ligação:** variáveis que, ao mesmo tempo, têm alta motricidade e alta dependência, ou seja, têm ao mesmo tempo capacidade de influenciar e serem influenciadas pelo sistema.

Sistemas com um grande número de variáveis de ligação tendem a serem instáveis;

-  **Independentes:** São aquelas de baixa motricidade e baixa dependência, que acabam por não influenciar o sistema. Em certos casos, podem até ser desconsideradas da análise.

A relação entre esses tipos de variáveis pode ser mais bem ilustrada na figura 2.

A entrada de dados é feita por meio da construção da matriz de influência direta (do tipo variável x variável), preenchida pelo usuário. Para preenchimento da matriz de influência direta, adotam-se valores de zero a três, sendo:

- 0 - Não existe influência;
- 1 - Influência fraca;
- 2 - Influência moderada;
- 3 - Influência forte.

A matriz é preenchida da linha para a coluna em que é indicada a influência que a variável da linha exerce nas variáveis das colunas. A diagonal principal é sempre nula uma vez que não se considera a influência da variável sobre ela mesma.

Após o preenchimento da matriz, somam-se os valores das linhas e das colunas. O valor das linhas indica a força que essa variável exerce no sistema, ou seja, quanto maior o valor maior é a motricidade da variável. O valor das colunas indica o grau de dependência da variável, quanto maior o valor, maior é a influência que essa variável recebe do sistema.

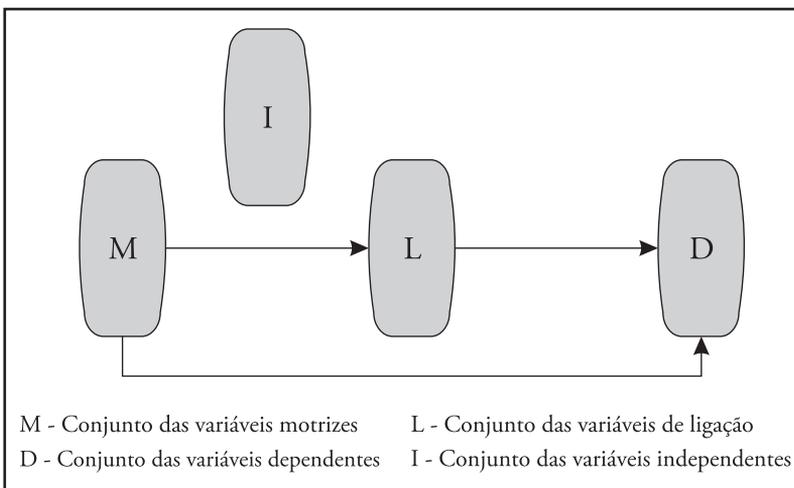


FIGURA 2. Relação entre os tipos de variáveis

Definem-se, então, os pontos médios de motricidade (PM), dados pela média entre o maior valor de motricidade (VM) e o menor valor de motricidade (vM), como indicado pela equação 1. O valor PM define o limite entre o que se define ser motricidade alta (valores acima de PM) e motricidade baixa (valores abaixo de PM). Da mesma forma, é determinado o ponto médio de dependência (PD), dado pela média do maior valor de dependência (VD) e pelo menor valor de dependência (vD), como indicado pela equação 2. O valor PD define o limite entre o que se define ser dependência alta (valores acima de PD) e dependência baixa (valores abaixo de PD) .

$$PM = \frac{VM + vM}{2} \quad \text{Ponto médio da motricidade} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$PD = \frac{VD + vD}{2} \quad \text{Ponto médio da dependência} \quad \text{Eq. (2)}$$

Variáveis com valores de motricidade acima de PM são consideradas de alta motricidade e variáveis com valores abaixo de PM são consideradas de baixa motricidade. Da mesma forma, variáveis com dependência acima de PD são consideradas de alta dependência e abaixo desse valor são consideradas de baixa dependência.

A classificação das variáveis em motrizes, dependentes, de ligação ou independentes é feita por meio do mapa de motricidade/dependência, como pode ser visto na figura 3.

Seguindo a classificação de variáveis apresentadas anteriormente, uma vez as variáveis inseridas no mapa de motricidade/dependência, verifica-se que:

- ☒ Variáveis localizadas no quadrante I são consideradas motrizes;
- ☒ Variáveis localizadas no quadrante II são consideradas de ligação;
- ☒ Variáveis localizadas no quadrante III são consideradas independentes;
- ☒ Variáveis localizadas no quadrante IV são consideradas dependentes;

Há outras maneiras de analisar esses resultados. A representação percentual da motricidade e dependência de cada variável ajuda a analisar a motricidade/dependência de cada variável dentro do sistema, por exemplo, uma variável com 25% de motricidade responde por ¼ da motricidade total do sistema, o que, dependendo do número de variáveis, pode ser representativo.

Para verificação da influência indireta, realizam-se multiplicações sucessivas da matriz de influência direta por ela mesma até a seqüência de ordenamento

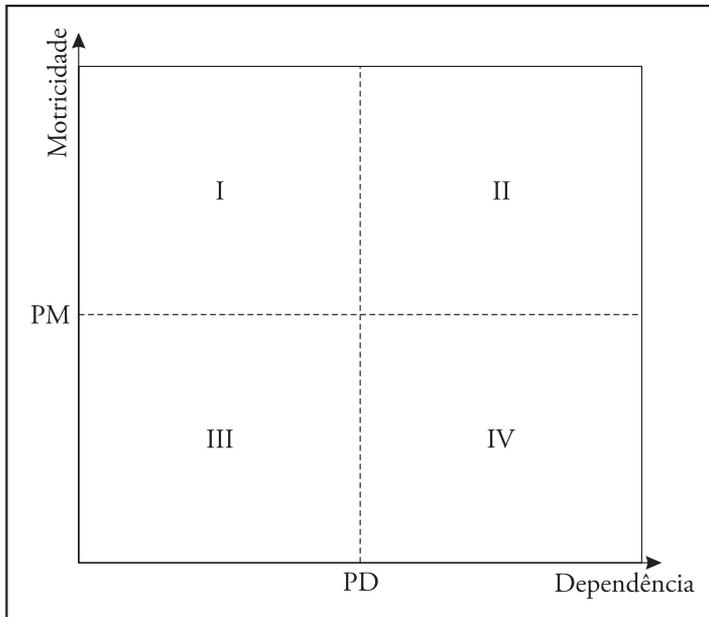


FIGURA 3. Mapa de motricidade e dependência de variáveis

das variáveis (classificação por motricidade e dependência) permaneça estável, ou seja, não se altere mais. A classificação das variáveis segue o mesmo procedimento utilizado na influência direta.

De posse dos resultados da influência direta e indireta, analisa-se o comportamento das variáveis nessas duas situações. Podem ocorrer casos em que uma variável na influência direta pode não parecer motriz e, após uma análise de influência indireta, possa se detectar uma maior motricidade, o que pode colocá-la em uma posição de destaque e relevância dentro do sistema em estudo. Essa análise é feita comparando os mapas de influência/dependência direta e indireta.

Para a análise dos resultados, o aplicativo MICMAC[®] disponibiliza uma série de elementos para realizar a interpretação dessas variáveis.

Os grafos gerados pelo aplicativo MICMAC[®] representam a relação direta/indireta entre as variáveis, por meio de linhas cuja cor varia em função da intensidade dessa influência.

A mudança de posicionamento das variáveis com relação à motricidade e à dependência pode ser

analisada por figuras geradas por esse aplicativo, em que pode ser vista a mudança de posicionamento das variáveis entre a classificação direta e indireta.

O mapa de deslocamento mostra, graficamente, o deslocamento do posicionamento das variáveis entre a análise direta e indireta, ajudando a visualizar melhor o comportamento das mesmas e se alguma teve sua classificação alterada.

ÁREA DE ESTUDO

A região hidrográfica do reservatório da UHE Lajeado abrange uma região de onze municípios (Tocantins, 2002): Brejinho de Nazaré, Fátima, Ipueiras, Lajeado, Miracema do Tocantins, Monte do Carmo, Palmas, Oliveira de Fátima, Porto Nacional, Silvanópolis e Tocantínia. Esses municípios têm uma população total de 235.000 habitantes, aproximadamente 20% da população do estado, estando 77% dos habitantes em Palmas e Porto Nacional.

A área dessa região é de aproximadamente 24.340 km², sendo que 630 km² correspondem ao lago da UHE Lajeado. Na figura 4, ilustra-se a área de estudo em relação ao estado do Tocantins.

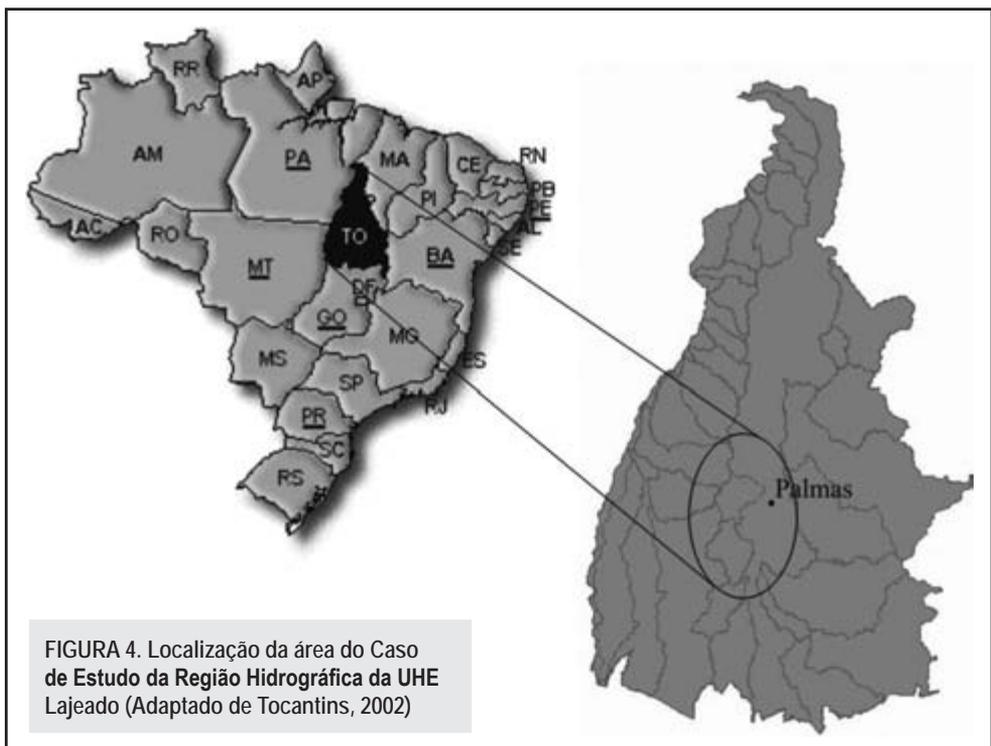


FIGURA 4. Localização da área do Caso de Estudo da Região Hidrográfica da UHE Lajeado (Adaptado de Tocantins, 2002)

RESULTADOS

Para a análise estrutural desse caso de estudo, após uma análise de um diagnóstico e algumas entrevistas, foram selecionadas onze variáveis para descrição do sistema hídrico e suas principais interações. Dez variáveis foram retiradas a partir da lista elaborada pela Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos, CT-PNRH, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH (Brasil, 2005) e uma, a Economia Nacional, foi inserida a partir de conside-

rações dos cenários regionais que apresentam direta dependência do desempenho da economia do País.

A Tabela 1 apresenta as variáveis e uma rápida descrição das mesmas, também elaborada pela CT-PNRH, à exceção da variável Economia Nacional. O tema indica se a variável pertence ao sistema hídrico em estudo (variável interna) ou se faz parte de outros sistemas que interagem com esse sistema (variável externa). As abreviaturas das variáveis são utilizadas na apresentação dos resultados, tais como matrizes e mapas de motricidade/dependência.

TABELA 1

Relação das variáveis para a análise estrutural para a região hidrográfica da UHE Lajeado (adaptado de Brasil, 2005)

n°	Variável	Abreviatura	Descrição	Categoria
1	Atividade de Geração de Energia	GerEnergia	Representada pela geração de energia hidrelétrica, considerando, ainda, a infra-estrutura necessária.	Variável interna
2	Quantidade de Água superficial disponível	QtAgSuperf	Representada pelo regime de disponibilidade quantitativa (natural) de água superficial.	Variável interna
3	Demanda por Água	Dem_Agua	Representada pela quantidade de água necessária para sustentação dos diferentes usos consuntivos e não consuntivos.	Variável interna
4	Qualidade da Água	QualidAgua	Representada pela condição físico-química-biológica dos corpos d'água.	Variável interna
5	Infra-Estrutura de Controle da Poluição Doméstica	Inf_CPD	Representada pelos níveis de atendimento da população pelos serviços de saneamento ambiental.	Variável interna
6	Atividade de Turismo e Lazer	At_tur_laz	Representada pelas condições quali-quantitativas dos recursos hídricos necessários ao turismo e lazer.	Variável interna
7	Implementação do Processo de Alocação de Água e da Outorga	Pros_outor	Representada pelo grau de implementação do processo de alocação de água e da outorga de direito de uso.	Variável interna
8	Dinâmica Populacional	Dim_Pop	Representada pela dinâmica populacional, considerando o ritmo de crescimento populacional, concentrações populacionais e movimentos intra-regionais e inter-regionais.	Variável externa
9	Dinâmica de Uso e Ocupação Do Solo	UsoOcup	Representada pela dinâmica de uso e ocupação da terra (urbanização, pecuária e agricultura; área degradada, desertificada, etc).	Variável externa
10	Atividade Agropecuária e Avícola	At_Agropec	Representada pela produção agrícola, pecuária e avícola, e a infra-estrutura necessária.	Variável externa
11	Economia Nacional	Econ_Nac	Representada pelo desempenho da economia do país, considerando o crescimento econômico, assim como o impacto na região de estudo.	Variável externa

Entrada de dados do método MICMAC

Foi construída a matriz de influência direta, conforme descrito na metodologia. A figura 5 apresenta o resultado da matriz de influência direta.

Resultados método MICMAC

Com a matriz de influência direta foi aplicado o método MICMAC (Godet, 1993), utilizando-se o aplicativo MICMAC (LIPSOR 2004). A seguir, são apresentados os resultados desse método.

O resultado da soma das linhas (motricidade) e colunas (dependência) é apresentado na tabela 2.

	1 : GerEnergia	2 : QtAgSuperf	3 : Dem_Agua	4 : QualidAgua	5 : Inf_CPD	6 : At_tur_laz	7 : Pros_outor	8 : Dim_Pop	9 : UsoOcup	10 : At_Agropec	11 : Econ_Nac
1 : GerEnergia	0	2	1	2	0	2	0	0	0	0	2
2 : QtAgSuperf	1	0	2	2	0	1	2	0	2	3	0
3 : Dem_Agua	1	2	0	3	2	0	3	0	0	1	0
4 : QualidAgua	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0
5 : Inf_CPD	0	0	0	3	0	2	0	1	0	0	0
6 : At_tur_laz	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
7 : Pros_outor	1	1	3	1	0	1	0	0	0	0	0
8 : Dim_Pop	0	0	3	3	1	0	0	0	1	0	0
9 : UsoOcup	1	3	0	2	0	1	1	0	0	2	0
10 : At_Agropec	1	3	2	2	0	0	2	1	3	0	0
11 : Econ_Nac	3	0	2	1	2	2	0	1	2	2	0

@LIPSOR-PTA-MICMAC

FIGURA 5. Matriz de influência direta para a região hidrográfica da UHE Lajeado

TABELA 2
Valores de motricidade e dependência das variáveis para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

Nº	Variável	Valor das linhas	Valor das colunas
1	Atividade de Geração de energia	9	8
2	Quantidade de água superficial disponível	13	11
3	Demanda por água	12	13
4	Qualidade da água	4	21
5	Infra-estrutura de controle da poluição doméstica	6	5
6	Atividade de Turismo e Lazer	3	12
7	Implementação do processo de alocação de água e da outorga de direito de uso	7	9
8	Dinâmica Populacional	8	3
9	Dinâmica de uso e ocupação do solo	10	9
10	Atividade agropecuária e avícola	14	8
11	Economia Nacional	15	2
	Total	101	101

A tabela 3 apresenta, em porcentagem, a motricidade e dependência (a variável qualidade da água representa, por exemplo, 20,79% da dependência dentro do sistema analisado).

O mapa de influência direta mostra o comportamento das variáveis no sistema analisado. Na figura 6, pode-se verificar que as variáveis motrizes do sistema são a Economia Nacional, a Atividade Agropecuária, Uso e Ocupação do Solo e a Quantidade de Água Superficial Disponível.

Em um primeiro momento, a Atividade de Geração de Energia fica indefinida se é uma variável motriz ou independente do sistema. Isso ocorre também com a variável de Processo de Outorga, Dinâmica Populacional e Infra-estrutura de Controle de Poluição Doméstica.

A variável de Demanda por Água apresenta-se com um comportamento de variável de ligação, que ao mesmo tempo influi e sofre influência no sistema.

As variáveis de qualidade da água e atividades de turismo e lazer assumem um comportamento de dependência dentro do sistema, principalmente a qualidade da água.

O grafo de influência direta mostra como as variáveis se relacionam sob uma condição de influência direta, como demonstrado na figura 7.

Com os resultados da influência direta são gerados os da influência indireta. A figura 8 mostra o resultado da matriz de influência indireta após cinco iterações.

Os passos a seguir, para a análise de influência indireta são os mesmos que foram executados para a matriz de influência direta.

A tabela 4 apresenta a motricidade e dependência das variáveis para a matriz de influência indireta.

A tabela 5 mostra a porcentagem de motricidade e dependência indireta de cada variável.

TABELA 3
Porcentagem de motricidade e dependência no sistema analisado para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

Posição	Abreviatura	Motricidade direta (%)	Abreviatura	Dependência direta (%)
1	Econ_Nac	14,85	QualidAgua	20,79
2	At_Agropec	13,86	Dem_Agua	12,87
3	QtAgSuperf	12,87	At_tur_laz	11,88
4	Dem_Agua	11,88	QtAgSuperf	10,89
5	UsoOcup	9,90	Pros_outr	8,91
6	GerEnergia	8,91	UsoOcup	8,91
7	Dim_Pop	7,92	GerEnergia	7,92
8	Pros_outr	6,93	At_Agropec	7,92
9	Inf_CPD	5,94	Inf_CPD	4,95
10	QualidAgua	3,96	Dim_Pop	2,97
11	At_tur_laz	2,97	Econ_Nac	1,98

FIGURA 6. Mapa de Motricidade e Dependência direta para a região Hidrográfica da UHE Lajeado.

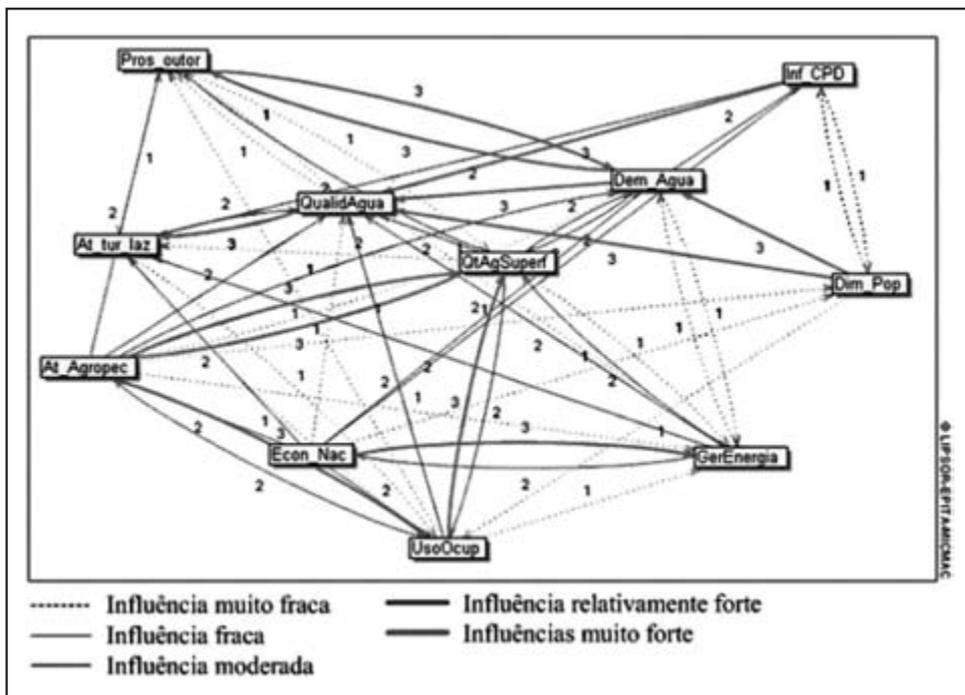
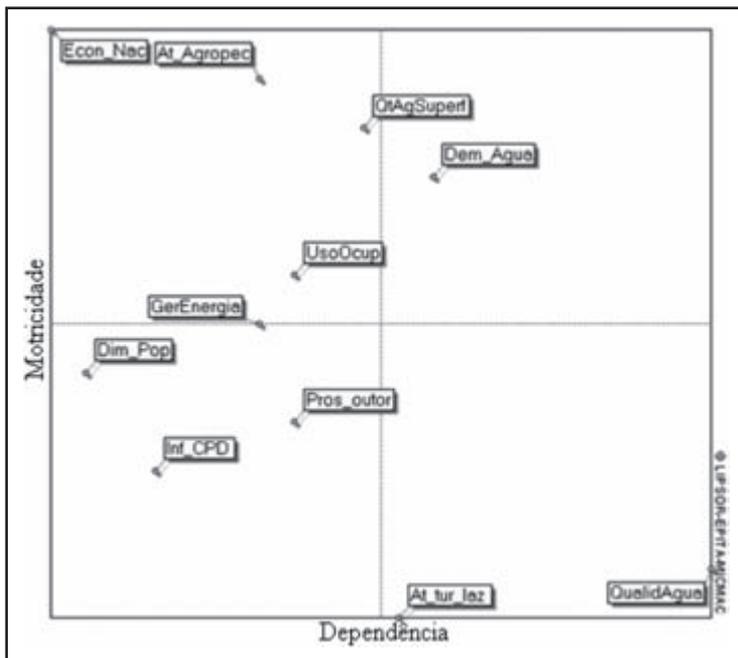


FIGURA 7. Grafos de influência direta para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

	1 : GerEnergia	2 : QtAgSuperf	3 : Dem_Agua	4 : QualidAgua	5 : Inf_CPD	6 : At_tur_laz	7 : Pros_outor	8 : Dim_Pop	9 : UsoOcup	10 : At_Agropec	11 : Econ_Nac
1 : GerEnergia	25447	42636	41491	71654	12201	52130	45332	5586	29744	30831	6142
2 : QtAgSuperf	40790	70468	65947	115515	19862	82148	73048	9602	48453	47274	9958
3 : Dem_Agua	28384	48757	45819	80150	13666	58024	50721	6556	33185	33375	6886
4 : QualidAgua	4214	6955	7153	11776	1782	8858	7388	1056	5140	4985	1032
5 : Inf_CPD	4755	8190	7764	13504	2198	9909	8533	1097	5618	5653	1178
6 : At_tur_laz	5072	8922	7930	14289	2625	9895	9126	1105	5842	5896	1212
7 : Pros_outor	19501	33731	31700	55830	9551	39182	34877	4484	23317	22674	4792
8 : Dim_Pop	16506	28675	26368	47232	8385	32751	29684	3651	19597	19179	3990
9 : UsoOcup	32924	56434	53519	93020	15825	66859	58781	7621	38676	38834	8080
10 : At_Agropec	44833	76797	72779	126670	21646	90621	79767	10323	52734	52570	10882
11 : Econ_Nac	39962	69743	64770	113787	19324	80214	71480	9546	47855	45743	9802

FIGURA 8. Matriz de influência indireta para a região Hidrográfica da UHE Lajeado.

TABELA 4
Motricidade e dependência das variáveis para a matriz de influência indireta
para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

N°	Variável	Valor das linhas	Valor das colunas
1	Atividade de Geração de Energia	363194	262388
2	Quantidade de água Superficial Disponível	583065	451308
3	Demanda por Água	405523	425240
4	Qualidade da Água	60339	743427
5	Infra-estrutura de Controle da Poluição Doméstica	68399	127065
6	Atividade de Turismo e Lazer	71914	530591
7	Implementação do processo de alocação de água e da outorga de direito de uso	279639	468737
8	Dinâmica Populacional	236018	60627
9	Dinâmica de Uso e Ocupação do Solo	470573	310161
10	Atividade Agropecuária e Avícola	639622	307014
11	Economia Nacional	572226	63954

TABELA 5
 Percentagem de motricidade e dependência indireta de cada variável para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

Posição	Abreviatura	Motricidade indireta (%)	Abreviatura	Dependência indireta (%)
1	At_Agropec	17,05	QualidAgua	19,82
2	QtAgSuperf	15,54	At_tur_laz	14,14
3	Econ_Nac	15,25	Pros_outor	12,49
4	UsoOcup	12,54	QtAgSuperf	12,03
5	Dem_Agua	10,81	Dem_Agua	11,33
6	GerEnergia	9,68	UsoOcup	8,26
7	Pros_outor	7,45	At_Agropec	8,18
8	Dim_Pop	6,29	GerEnergia	6,99
9	At_tur_laz	1,91	Inf_CPD	3,38
10	Inf_CPD	1,82	Econ_Nac	1,70
11	QualidAgua	1,60	Dim_Pop	1,61

No mapa de influência indireta (figura 9), percebem-se algumas mudanças de comportamento de algumas variáveis. A variável de Quantidade de Água Superficial Disponível passa a ter um comportamento de ligação. Junto com a Demanda, pode-se inferir

que a relação demanda e disponibilidade hídrica é fundamental para a estabilidade do sistema, o comportamento das mesmas pode provocar situações futuras bem diferenciadas, sendo variáveis que devem ser monitoradas constantemente.

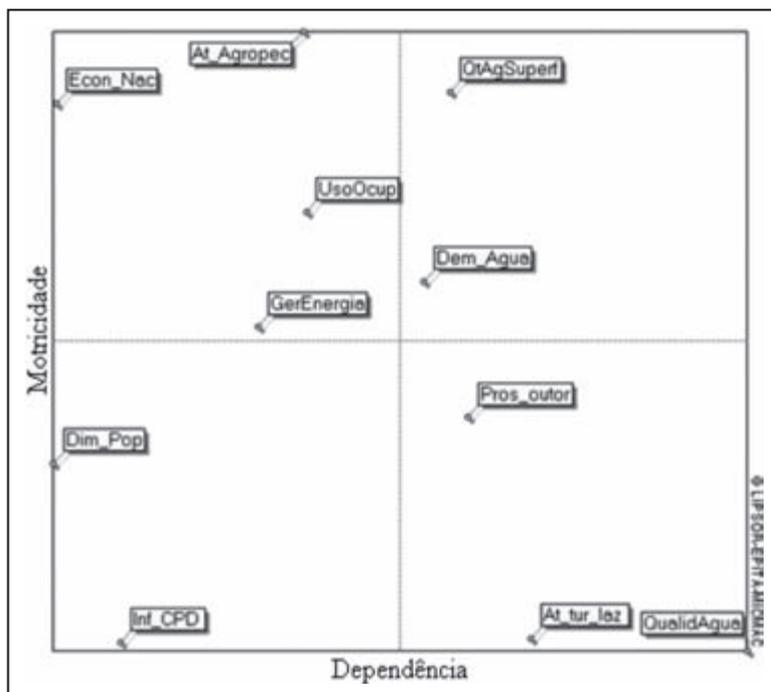


FIGURA 9. Mapa de influência indireta para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

A variável Atividade de Geração de Energia passa a ter um comportamento motriz, ou seja que influencia o sistema, o que faz sentido, uma vez que a UHE faz parte do sistema interligado de produção de energia, a sua demanda pode influenciar outros usos, assim como a regularização por parte da UHE de Serra da Mesa.

Ainda, com relação às variáveis motrizes, verifica-se que as de maior motricidade são as variáveis externas, o que indica que o sistema hídrico está em uma posição passiva, que reflete as posições de outros sistemas, o que pode indicar que as estratégias devem ser mais pré-ativas do que pró-ativas, com relação à permanência de uma condição sustentável do sistema hídrico.

A variável Dinâmica Populacional se manteve independente, infere-se que, por ser uma região com baixo crescimento populacional, à exceção de Palmas, essa variável tem muito pouca influência no sistema hídrico, principalmente devido à alta disponibilidade hídrica e à baixa demanda associada a uma baixa densidade populacional.

A variável de Infra-estrutura de Controle de Poluição Doméstica também se manteve como independente. Isso se deve a ela interagir pouco com as outras variáveis, mas, como exerce uma alta motricidade

sobre a qualidade da água, não se recomenda que seja descartada do sistema e seja monitorada.

As atividades de turismo e lazer dependeriam apenas da qualidade da água para seu desenvolvimento, uma vez que a disponibilidade hídrica não é problema, podendo ser desenvolvidas inclusive em época de estiagem. Essa variável pouco influencia o sistema, o que é demonstrado ao ser classificada como uma variável dependente.

Como discutido anteriormente, na região do caso de estudo, a disponibilidade hídrica atualmente não seria um problema. Com isso, considera-se que a variável mais importante do sistema hídrico seja a Qualidade da Água, por ser aquela que pode restringir alguns tipos de uso e gerar possíveis conflitos de uso da água. Também será essa a variável que pode apontar, de forma rápida, o estado do sistema hídrico, uma vez que, por ser a mais dependente, reflete o comportamento e as ações da grande maioria das outras variáveis.

A figura 10 apresenta o mapa de deslocamento das variáveis da situação de influência direta (ponto em que está o rótulo) para a situação de influência indireta (a outra extremidade das linhas). Nessa figura, pode-se analisar mais facilmente a “mudança” de comportamento das variáveis ao se considerar a influência direta entre as mesmas.

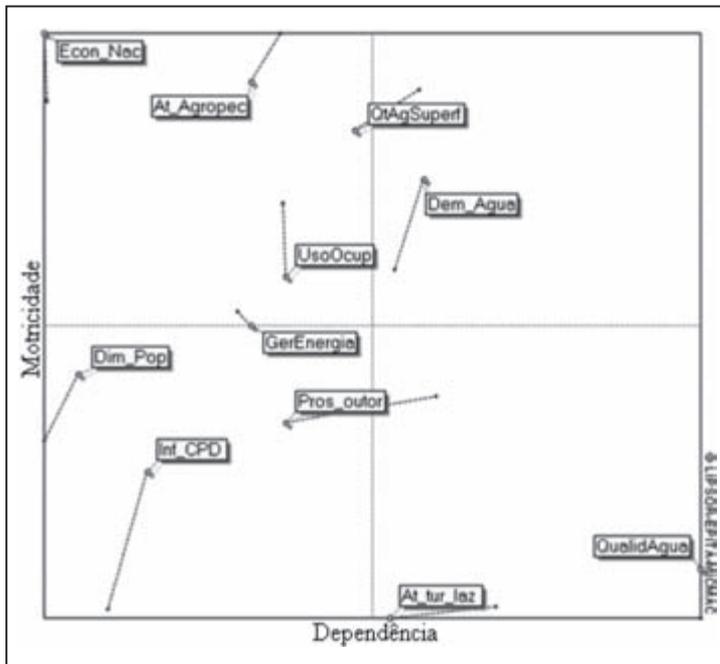


FIGURA 10. Mapa de deslocamento de influências direta/indireta para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

A figura 11 mostra o grafo das relações de influência indireta, considerando apenas as 25% mais fortes. Verifica-se, nessa figura, que não constam as variáveis Dinâmica Populacional e Infra-estrutura de Controle de Poluição Doméstica, que são, justamente, as variáveis consideradas independentes, em que as relações de motricidade e dependência são menores. Também, pode visualizar a forte influência das atividades agropecuárias na qualidade da água.

As figuras 12 e 13 mostram as mudanças na classificação das variáveis por motricidade e dependência respectivamente, da relação direta para a indireta. As conexões em verde indicam que a variável ganhou posições na classificação de motricidade ou dependência e as conexões em vermelho indicam uma perda de posições na classificação. Caso não existam conexões, significa que a variável em questão permanece na mesma posição.

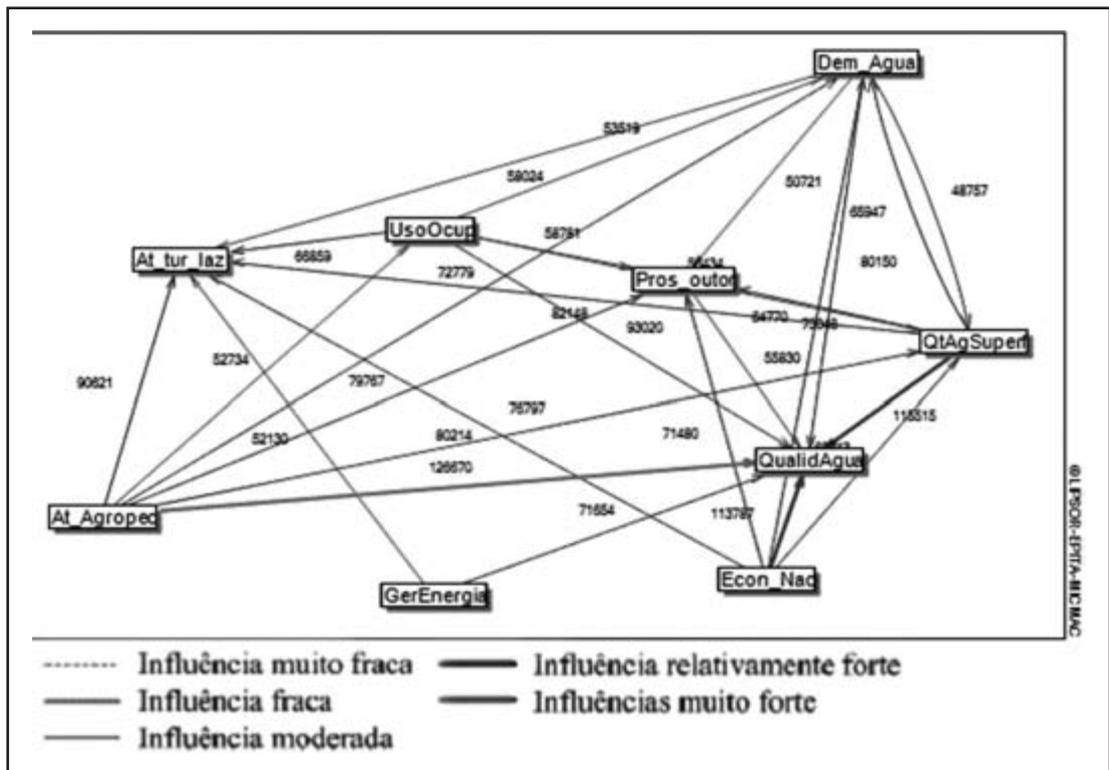


FIGURA 11. Grafos de influência indireta considerando-se as 25% relações mais fortes para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

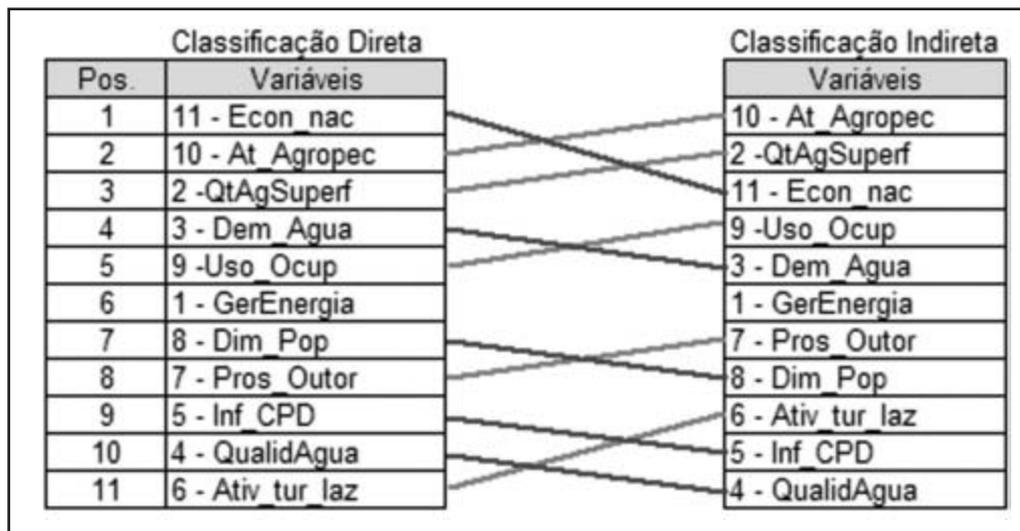


FIGURA 12. Mudança na classificação das variáveis por motricidade na influência direta para a indireta para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

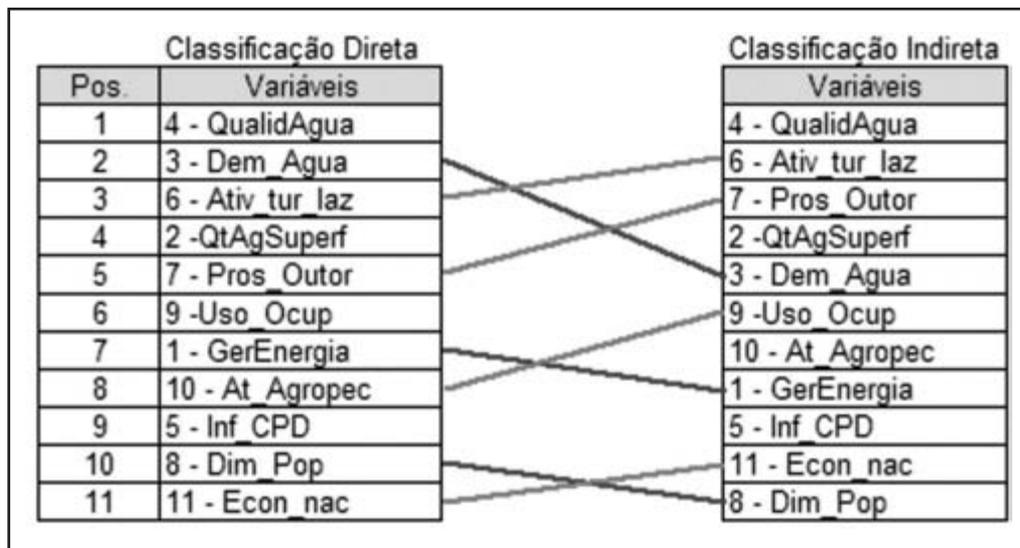


FIGURA 13. Mudança na classificação das variáveis por dependência na influência direta para a indireta para a região Hidrográfica da UHE Lajeado

Verifica-se que as mudanças de posição, tanto para a motricidade quanto para a dependência, ocorrem entre grupos de variáveis próximas na classificação, ocorrendo, no máximo, a mudança de três posições. Esse fenômeno pode indicar que as relações de influência indireta entre as variáveis não são muito grandes, ou seja, o número de variáveis pela qual uma variável tem de “passar” para chegar a influenciar uma terceira não é muito grande. O fato de não se tratar de um número muito grande de variáveis também ajuda a explicar essa mudança não muito brusca na posição das variáveis quando analisada a influência indireta entre elas.

CONCLUSÕES

A análise estrutural pode ser uma ferramenta bastante útil para se conhecer melhor um determinado sistema hídrico, tanto suas componentes (variáveis internas) como as relações entre as mesmas. Também, pode-se analisar o comportamento desse sistema hídrico em estudo quando afetado por outros sistemas (variáveis externas), como o econômico, social, cultural e ambiental.

Quando esse tipo de metodologia é aplicado aos recursos hídricos, confirma-se que o sistema hídrico é um sistema, na maioria das vezes, passivo ou dependente, que tem pouca força para impor ações a outros sistemas para melhorar seu desempenho.

Verifica-se que o recurso a essa metodologia pode contribuir, de forma importante, para o conhecimento de um sistema em estudo, como apresentado por Bodini (2001), em que a análise estrutural, por meio do método MICMAC, foi aplicada à cadeia produtiva da erva-mate e por Hatakeyama e Liberal (2003), aplicado a indicadores de Ciência e Tecnologia do Estado do Paraná (Brasil).

Pode-se inferir que, quase sempre, o comportamento do sistema hídrico é reativo, mas que pode ser influenciado por meio de estratégias e ações pré-ativas, ou seja, de antecipação, com o objetivo de se estar mais bem preparado para essas ações impostas por esses ou outros sistemas. Para situações particulares, em que o sistema tem maior controle nas variáveis que o afetam, como em algumas situações de demanda por uso da água e estratégias para uma gestão adequada dos recursos hídricos, pode-se tomar medidas pró-ativas, em que a antecipação visa a levar a uma situação futura mais favorável.

Esse método possibilita, assim, promover processo de planejamento estratégico do aproveitamento de recursos hídricos, a partir da consideração de uma dada região ou bacia hidrográfica como um sistema, descrito por variáveis, que interage com outros sistemas e suas variáveis, avaliando-se como essas variáveis se comportam e interagem entre si.

A aplicação ao caso de estudo proposto conseguiu retratar com grande verossimilhança o sistema hídrico da região hidrográfica da UHE Lajeado, apresentando suas principais características, assim como as principais variáveis externas e suas influências no sistema hídrico em estudo.

Considera-se que o método proposto mostra-se potencialmente pertinente para o processo de auxílio à decisão na gestão dos recursos hídricos, pois permite a representação adequada do sistema, evidenciando relações entre variáveis e questões, que poderiam não ser percebidas, caso se optasse por uma abordagem não estruturada de representação de sistemas. Deve-se considerar, no entanto, a subjetividade na seleção dos dados de entrada e na análise dos resultados, assim como a emissão de juízos de valor inerentes ao método.

Referências

- Bodini, V.L. (2001). *Uso da Análise Estrutural Prospectiva para a identificação de Fatores Condicionantes de Competitividade na Agroindústria Brasileira*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil.
- Brasil (2005). *Lista de variáveis relevantes* (Cenarização Prospectiva – PNRH). Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos CT-PNRH. Ministério do Meio ambiente. Documento não publicado.
- Chiavenato, I. (2003). *Planejamento Estratégico, Fundamentos e Aplicações*. Editora Campus, Rio de Janeiro, Brasil. 452p.
- Godet, M. (1993). *From Anticipation to Action. A handbook of Strategic Prospective*. United Nations, UNESCO, Paris, França. 277p.
- Hatakeyama, K. E Liberal, C. G. (2003). Análise de Indicadores Paranaenses de CT&I por Meio da Matriz de Análise Estrutural. In: *Semana da Tecnologia: Tecnologia para quem e para que?*. Curitiba. Atas da Semana de Tecnologia. Curitiba, PR, Brasil.

LIPSOR (2004). *MICMAC. Software Version 6.1.2 2003/2004, Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliqués à un Classement*. Disponível em http://www.3ie.org/lipsor/download/formulaire_uk.php França.

Marcial, E. C. e Grumbach, R. J. S. (2004). *Cenários Prospectivos. Como Construir um Futuro Melhor*. Editora FGV. Rio de Janeiro, Brasil. 148p.

Tocantins (2002). *Atlas do Tocantins. Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial*. Governo do Tocantins. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente, Brasil. Tocantins, Brasil. 49p.

Fernán Enrique Vergara Professor do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins (UFT). vergara811@gmail.com

Oscar de Moraes Cordeiro Netto Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB – Universidade de Brasília. cordeiro@unb.br