



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

NÁDIA ÂNGELA SALOMÃO CUAMBE ÁLVARO

**MODELO DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS TRANSFRONTEIRIÇOS
NA BACIA DO RIO LIMPOPO – ÁFRICA AUSTRAL**

Recife

2019

NÁDIA ÂNGELA SALOMÃO CUAMBE ÁLVARO

**MODELO DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS TRANSFRONTEIRIÇOS
NA BACIA DO RIO LIMPOPO – ÁFRICA AUSTRAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gerência da Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Morais.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

A473m Álvaro, Nádia Ângela Salomão Cuambe.
Modelo de alocação de recursos hídricos transfronteiriços na bacia do rio Limpopo – África Austral / Nádia Ângela Salomão Cuambe Álvaro. – Recife, 2019. 90 f., il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Morais.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2019.
Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Gestão de recursos hídricos transfronteiriços. 3. Bacia do rio Limpopo. 4. Agregação de preferências individuais. 5. Decisão em grupo. 6. Modelo de alocação de recursos hídricos. I. Morais, Danielle Costa (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-475

NÁDIA ÂNGELA SALOMÃO CUAMBE ÁLVARO

**MODELO DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS TRANSFRONTEIRIÇOS
NA BACIA DO RIO LIMPOPO – ÁFRICA AUSTRAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 17 / 12 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Danielle Costa Morais (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Helder Gomes Costa (Examinador Externo)
Universidade Federal Fluminense

AGRADECIMENTOS

..."Os que confiam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como Águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigarão!"... Isaías 40:31.

Agradeço a Deus por ter me fortalecido renovando as minhas forças a cada manhã, pois foram vezes sem conta que pensei em desistir, mas pela sua infinita bondade, ele nunca permitiu.

Agradeço ao meu amado filho, Augusto Júnior, por ter se transformado em homem quando é apenas uma criancinha, pois teve que suportar a dor de ficar distante da mãe sem poder abraçar, beijar, e estar ao colo quando precisasse.

Agradeço a minha família, em especial, aos meus pais e irmãos, por todo amor, palavras de incentivo e pelo suporte incondicional, pois não deixaram que nada faltasse ao meu filho.

As minhas amigas da terra natal, por cada palavra de incentivo para continuar.

Aos meus colegas e amigos que fiz no mestrado, que tanto me ajudaram e sempre estiveram presentes para me levantar quando as minhas forças se esgotavam. Em especial, Emerson, Rosmery, Amanda, Júlia e Leão, e tantos outros dos quais sem o seu apoio, dificilmente teria chegado até aqui.

Agradecimento imenso a Roda Nuvunga, Diretora Nacional do Instituto de Investigação em Águas (IIA), pela força, encorajamento e confiança que me transmitiu em desenvolver este estudo.

Á minha orientadora, Danielle Morais, por toda a dedicação, orientação e flexibilidade.

Aos meus professores do programa, pelo conhecimento transmitido e por terem me ajudado a desenvolver cientificamente.

Á Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos de Moçambique, em especial ao Hilário Pereira, pela disponibilidades e vontade de ajudar, pela partilha de informação e pela confiança depositada em mim.

Agradeço também a todos aqueles que acreditaram no meu potencial, em especial aos meus colegas de trabalho, nesta missão quase impossível, por ser uma área muito diferente da minha licenciatura.

Ao Instituto de Bolsas de Estudos de Moçambique e a CAPES pelo suporte financeiro.

RESUMO

A gestão de bacias hidrográficas transfronteiriças constitui um dos maiores desafios que a comunidade internacional tem vindo a enfrentar, pois elas interligam usuários de água de diferentes Estados soberanos em um único sistema partilhado. Os Estados particularmente, pretendem obter o máximo de benefícios possíveis decorrentes do uso dos recursos hídricos nessas bacias, e qualquer situação em que agem em conjunto será sempre complexa porque os mesmos são autônomos. Este tipo de processo se torna complexo devido à presença de vários tomadores de decisão, cada um com suas próprias estruturas de preferências, e percepções sobre a maneira como o problema deve ser enfrentado e a decisão tomada. Diante da condição de compartilhamento entre os Estados, onde o consenso é alcançado por meio de negociações, torna-se relevante identificar e desenvolver ferramentas estruturadas e sistematizadas, que envolvam procedimentos analíticos de apoio a tomada de decisão, e possam agregar as preferências do grupo de decisores. Com intuito de contribuir para uma melhor gestão integrada de recursos hídricos transfronteiriços entre os Estados da África Austral, o estudo propõe um modelo de alocação de recursos hídricos das águas superficiais da bacia do rio Limpopo, que é partilhado por África do Sul, Botswana, Moçambique e Zimbabwe. O modelo proposto resulta da união de duas abordagens: o de Avarideh, Attari e Moridi (2017), no qual utiliza um método técnico-legal integrado para modelar o Artigo 6 da Convenção das Nações Unidas sobre Recursos Hídricos de 1997, sendo aplicado com base no estabelecimento de indicadores em conformidade com os fatores de equidade estabelecidos no Artigo 6 da Convenção e o de Mimi e Sawalhi (2003), cujo modelo de otimização procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados, minimizando a soma dos quadrados das diferenças entre o valor de alocação estimado e os dados observados. As preferências dos decisores (representantes dos países) com relação aos pesos dos fatores de equidade foram estabelecidos e sintetizados em uma matriz quadrada utilizando a estrutura do método AHP, por meio da abordagem de agregação de julgamentos individuais, de forma a refletir os pesos dos fatores para o grupo. Por fim, são obtidos os resultados da alocação ótima que especifica os direitos de uso das águas da bacia do rio Limpopo alocado aos quatro países ribeirinhos, em função da contribuição e participação que cada país apresenta na utilização do recurso.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos transfronteiriços. Bacia do rio Limpopo. Agregação de preferências individuais. Decisão em grupo. Modelo de alocação de recursos hídricos.

ABSTRACT

The management of cross-border hydrographic basins constitutes one of the greatest challenges that the international community continues to face because it interconnects water users from different sovereign States into one unique system which needs to be shared. States in particular, intend to obtain the maximum benefit possible arising from the use of water resources in these basins, whatever situation where they act in conjunction will always be complex because they are autonomous. This type of process becomes complex due to the presence of various decision makers, each one with their own preference structures and perceptions of how the problem needs to be faced and the decision made. However, knowing the sharing conditions between States where a consensus is met through negotiations, it becomes relevant to identify and develop structured and systematic tools that involve analytic procedures to support decision making and aggregate the preferences of the group of decision makers. In order to contribute to a better integrated management of transboundary water resources among Southern African States, the study proposes an allocation model of the water resources of the superficial waters of the Limpopo River basin which is shared by South Africa, Botswana, Mozambique and Zimbabwe. The proposed model results in the union of two approaches: the Avarideh and the Attari and Moridi (2017) in which is utilized a technically analyzed method integrated to model the Article 6 of the United Nations Convention regarding the Water Resources of 1997. It is applied on the basis of the establishment of indicators in conformity with equalizing factors established in the Article 6 of the Convention and in the Mimi and Sawalhi (2003), which optimization model searches for the best adjustment of a combination of factors trying to minimize the sum of the squares of the differences between the allocated estimated value and the factors observed. Decision-maker (country representative) preferences for equity factor weights were established and synthesized in a square matrix using the AHP method framework through the individual judgment aggregation approach to reflect factor weights for the group. Finally, the results of the best allocation are obtained that specify the rights of the use of the waters of the Limpopo water basin which is allocated to the four riparian countries according to the contribution and participation that each country presents in the use of that resource.

Keywords: Transboundary water resources management. Limpopo river basin. Aggregation of individual preferences. Group decision. Water resource allocation model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Processo de modelagem..... | 17 |
| Figura 2 - Exemplo de tipos de benefícios | 23 |
| Figura 3- Decisão em grupo com base na agregação de julgamentos individuais | 37 |
| Figura 4- Decisão em grupo com base na agregação de prioridades individuais..... | 38 |
| Figura 5 - Tipos de rios e relações co-ribeirinhas | 43 |
| Figura 6 - Fluxograma da partilha de água do UNWC de 1997..... | 45 |
| Figura 7 - Fisionomia da bacia do rio Limpopo | 52 |
| Gráfico 1- Crescimento da população na bacia do Limpopo | 53 |
| Figura 8- Localização geográfica das barragens na bacia do Limpopo..... | 56 |
| Figura 9 - Localização da bacia do rio Limpopo..... | 57 |
| Figura 10 - Organograma da LIMCOM | 58 |
| Figura 11 - Fluxograma das etapas do modelo proposto para alocação equitativa de recursos hídricos | 62 |
| Figura 12 - Alocação ótima das águas da bacia do rio Limpopo | 78 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Definição de indicadores com base no artigo 6 da UNWC..... | 29 |
| Quadro 2 - Fatores associados ao uso equitativo da água | 32 |
| Quadro 3 - Definição de indicadores com base no artigo 6 da UNWC para o rio Limpopo.... | 64 |
| Quadro 4 - Valor dos fatores determinados pelos indicadores quantificados (%) | 71 |
| Quadro 5 - Matriz de decisão do Representante da África do Sul | 74 |
| Quadro 6 - Matriz de decisão do Representante de Moçambique | 74 |
| Quadro 7 - Matriz de decisão do Representante de Botswana | 74 |
| Quadro 8 - Matriz de decisão do Representante do Zimbabwe..... | 75 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Área ocupada pela bacia nos quatro países (Km ² ; %) | 50 |
| Tabela 2 - Indicadores económicos do uso da água por setor | 54 |
| Tabela 3 - Estimativas de necessidade da água na bacia do rio Limpopo por setor..... | 55 |
| Tabela 4 - Infraestruturas existentes nos quatro países na bacia do Limpopo | 55 |
| Tabela 5 - Escala ordinal de avaliação dos fatores..... | 65 |
| Tabela 6 - Hierarquia dos fatores por decisor..... | 73 |
| Tabela 7 - Escala fundamental de Saaty..... | 73 |
| Tabela 8 - Matriz de decisão do grupo | 76 |
| Tabela 9 - Pesos dos fatores para o grupo (agregado das preferências individuais) | 77 |
| Tabela 10 - Resultados da alocação ótima do recurso compartilhado..... | 78 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------------|---|
| CNA | Conselho Nacional de Águas |
| DNA | Direção Nacional de Águas |
| DNGRH | Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos |
| DNGRHM | Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos de Moçambique |
| ENGRH | Estratégia Nacional de Gestão de Recurso Hídricos |
| GDM | <i>Group Decision Making</i> (Tomada de decisão em grupo) |
| GIRH | Gestão Integrada dos Recursos Hídricos |
| Km | Quilómetros |
| KSR | Kit de Sensibilização do Rio Limpopo |
| LBPTC | Comité Técnico Permanente da Bacia do Limpopo |
| LIMCOM | Comissão do Curso de Água no Rio Limpopo |
| LRBMS | Limpopo River Basin Monograph Study |
| MAR | Escorrimento superficial médio anual |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MMG | Método da média geométrica |
| MOPHRH | Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos |
| PNA | Política Nacional de Águas |
| PRA | Política Regional de Águas |
| RSA | República Sul Africana |
| SADC | Comunidade de Desenvolvimento da África Austral |
| UNWC | Convenção das Nações Unidas sobre Direito dos Usos Não-Navegacionais dos Cursos de Água Internacionais. |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.1 | Justificativa | 15 |
| 1.2 | Objetivos..... | 16 |
| 1.2.1 | Geral | 16 |
| 1.2.2 | Específicos..... | 16 |
| 1.3 | Metodologia..... | 16 |
| 1.4 | Estrutura do trabalho..... | 18 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA..... | 20 |
| 2.1 | A negociação no contexto de recursos compartilhados..... | 20 |
| 2.2 | Modelos de alocação de recursos hídricos..... | 24 |
| 2.2.1 | Soluções de Equilíbrio de Nash para distribuição da água transfronteiriça | 24 |
| 2.2.2 | Modelo de alocação baseada no Procedimento Vencedor Ajustado | 27 |
| 2.2.3 | Modelo de compartilhamento de água equitativo e razoável | 29 |
| 2.2.4 | Ferramentas de decisão para alocar as águas do rio transfronteiriço..... | 31 |
| 2.3 | Tomada de decisão em grupo | 32 |
| 2.4 | Métodos multicritério para decisão em grupo | 33 |
| 2.4.1 | O método AHP na decisão em grupo | 35 |
| 2.5 | Síntese do capítulo | 39 |
| 3 | GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS TRANSFRONTEIRIÇOS E A BACIA DO RIO LIMPOPO..... | 41 |
| 3.1 | Gestão transfronteiriça | 41 |
| 3.2 | Leis internacionais da gestão de recursos hídricos transfronteiriços | 43 |
| 3.3 | Leis da SADC na gestão de recursos hídricos transfronteiriços | 46 |
| 3.4 | A Bacia do rio Limpopo | 49 |
| 3.5 | Gestão de recursos hídricos na bacia do rio Limpopo | 57 |
| 3.6 | Síntese do capítulo | 59 |
| 4 | MODELO PROPOSTO DE ALOCAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS | 61 |
| 4.1 | Estrutura do Modelo | 61 |
| 4.1.1 | Etapa 1: Modelagem/ formulação de indicadores de avaliação..... | 63 |
| 4.1.2 | Etapa 2: Agregação de julgamentos individuais para obtenção dos pesos pelo grupo | 65 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 4.1.3 | Etapa 3: Determinação da alocação dos recursos hídricos superficiais compartilhados | 66 |
| 4.5 | Síntese do capítulo | 67 |
| 5 | APLICAÇÃO DO MODELO DE ALOCAÇÃO EQUITATIVA | 69 |
| 5.1 | Etapa 1: modelagem/ formulação de indicadores de avaliação | 69 |
| 5.2 | Etapa 2: Agregação de julgamentos individuais para obtenção dos pesos pelo grupo | 72 |
| 5.2.1 | Estabelecimento de julgamentos individuais | 72 |
| 5.2.2 | Agregação dos pesos dos fatores | 75 |
| 5.3 | Etapa 3: Determinação da alocação equitativa de recursos hídricos na bacia do rio Limpopo | 77 |
| 5.4 | Síntese do capítulo | 79 |
| 5.5 | Discussão de resultados | 80 |
| 6 | CONCLUSÕES | 82 |
| 6.2 | Sugestões para trabalhos futuros | 85 |
| | REFERÊNCIAS | 86 |

1 INTRODUÇÃO

Águas transfronteiriças são recursos hídricos que são compartilhados por dois ou mais estados soberanos, e incluem a água doce superficial, água subterrânea internacional e ecossistemas Marinhos (PAISLEY; HENSHAW, 2013). Estudos realizados por Biswas (2008), indicam que quase 47% da área coberta por águas no mundo estão dentro de bacias hidrográficas transfronteiriças.

Uma bacia hidrográfica pode ser definida pela presença de um conjunto de drenagem que converge toda a água precipitada até o seu ponto mais baixo, conhecido como foz (BERNARDI *et al.*, 2013). Ela pode ser considerada como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitada e a saída é o volume de água escoada pela foz, (TUCCI, 2009). Por convenção, o rio principal de uma bacia é a maior linha de fluxo de água que liga uma nascente a foz. Na sequência, as bacias hidrográficas transfronteiriças interligam usuários da água de diferentes estados soberanos em um único sistema partilhado, e na maioria das vezes esses estados, pretendem obter o máximo de benefícios possíveis resultantes do uso dos recursos hídricos nessas bacias. Gerir essa interdependência constitui um dos maiores desafios que a comunidade internacional enfrenta (JORDÂNIA, 2006).

A complexidade das fronteiras criadas pelo homem e a delimitação natural das águas a montante (nascente do rio) ou a jusante (desaguamento de um rio), fazem com que a questão da água internacional se torne uma questão volátil e complexa (ABUKHATER, 2013). Problemas desta natureza vinculados a ameaças iminentes de escassez de água tornam a gestão de bacias transfronteiriças uma questão crucial que exige mecanismos cooperativos para a preservação da estabilidade política, proteção ambiental e uso equitativo dos recursos hídricos compartilhados (KAMPAGOU; ELEFTHERIADOU; MYLOPOULOS, 2007). Entretanto, quando os países compartilham partes de uma bacia hidrográfica, eles tendem a cooperar ou a colidir, as relações dependem da atmosfera geral política, histórica, socioeconômica da bacia hidrográfica compartilhada em geral, dos interesses individuais e coletivos, e da vontade política dos estados ribeirinhos que a compartilham (ABUKHATER, 2013). Nestas circunstâncias, para negociar a gestão de rios compartilhados, os ribeirinhos podem concentrar suas negociações na alocação dos direitos da água ou na distribuição dos benefícios derivados do uso da água (SADOFF; GRAY, 2005).

Segundo Abukhater (2013), o desenvolvimento de processos de alocação de direitos da água com base em princípios de equidade tende a promover a gestão ótima da água, o que, por sua vez, cria uma atmosfera propícia para semear a cooperação. O princípio da alocação

equitativa significa que cada estado da bacia tem direito a uma parcela razoável e equitativa no uso benéfico da água compartilhada. Não significando com isso, uso de forma igual, pelo contrário, isso significa que uma grande variedade de fatores, incluindo população, hidrologia, clima, usos existentes, e assim por diante, devem ser considerados na alocação dos direitos sobre a água (MIMI; SAWALHI, 2003).

Na África, no contexto da Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (SADC – bloco econômico e político composto por 16 países da África Austral, região sul do continente), a gestão das bacias hidrográficas, incluindo a bacia do rio Limpopo (partilhada por África do Sul, Moçambique, Botswana e Zimbábwe), é orientada e regida por meio de acordos, representando como basilar, o Protocolo Revisto da SADC sobre Cursos de Água Partilhados (2000), e estabelecidos pequenos grupos multidisciplinares ou Comitês específicos para o desenvolvimento da gestão integrada de cada bacia, com vista a atender aos múltiplos interesses. A necessidade de um acordo muitas vezes é interpretada como obter um consenso, onde todos os decisores concordam em aceitar uma decisão em prol da coletividade, mas isso não significa que a decisão final seja a preferida nas avaliações individuais de todos os participantes (ALMEIDA *et al.*, 2012).

Assim sendo, ciente do processo de decisão em grupo, considerando a volubilidade e a vulnerabilidade a manipulação das decisões por meio dos acordos entre um grupo de decisores, favorecendo uns em detrimento dos outros na tomada de decisão, torna-se relevante identificar e desenvolver modelos estruturados e sistematizados que envolvam procedimentos analíticos que possam agregar as preferências do grupo de decisores. Diante disso, o estudo tem como objetivo de propor um modelo de alocação equitativa dos direitos de uso das águas superficiais da bacia do rio Limpopo entre os países ribeirinhos em função da sua contribuição e participação na utilização do recurso. Esta proposta é baseada em dois modelos:

- O de Avarideh, Attari e Moridi (2017), no qual utiliza um método técnico-legal integrado para modelar o Artigo 6 da Convenção das Nações Unidas sobre Recursos Hídricos de 1997 (do inglês, *The 1997 UN Watercourse Convention - UNWC*), sendo aplicado com base no estabelecimento de indicadores em conformidade com os fatores de equidade estabelecidos no mesmo.
- E o de Mimi e Sawalhi (2003), cujo modelo de otimização procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados, tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor de alocação estimado e os dados observados.

Dessa forma, esta proposta une esses dois modelos (Álvaro; Morais; Silva, 2019), com vista a servir de um instrumento de decisão adicional para apoiar as negociações entre estes

países. Assim, o modelo será aplicado na bacia do rio Limpopo por ser partilhado especificamente pela África do Sul, Moçambique, Botswana e Zimbabwe e pelo fato de representar um importante potencial agrícola para Moçambique, através do canal de regadio de chokwé na província de Gaza (foz do rio), abastecendo o sul e centro do país e ainda exportando para países ribeirinhos.

O modelo proposto considera que os países que compartilham o mesmo rio transfronteiriço têm boas relações entre si e o rio tem água limitada para atender às demandas desses países.

De forma geral, a proposição do modelo vai contribuir para que as partes envolvidas no processo decisório do contexto específico, se auxiliem de métodos para modelagem de problemas complexos e tomem decisões com base na quantidade de informações disponíveis, reduzindo assim o risco de erro na tomada de decisão. Assim o desenvolvimento de modelos matemáticos para a tomada de decisão, forcem a identificação de variáveis a serem incluídas num processo decisório e em que situações elas poderão ser quantificáveis.

1.1 Justificativa

O uso de recursos hídricos compartilhados numa bacia hidrográfica resulta frequentemente em interesses competitivos, de tal forma que a gestão e o devido planejamento deverão ser feitos com intuito de atender a esses múltiplos interesses.

Um gerenciamento cuidadoso é necessário em tais situações para impedir a super-exploração do recurso por um estado que, por sua vez, teria um impacto negativo na disponibilidade do recurso para outros estados. Portanto, à medida que a água for escasseando relativamente à procura, a competição transfronteiriça pela partilha dos recursos hídricos também irá aumentar. Por consequência, sem instrumentos eficazes de gerenciamento partilhado, capaz de responder a estas questões transfronteiriças, esta competição poderá conduzir a conflitos, com prejuízos incalculáveis (PACHECO *et al.*, 2014).

Assim sendo, a gestão de recursos hídricos partilhados pode constituir um pretexto para usos da água do rio Limpopo na região não são monitorados de forma eficaz, não se sabe precisamente quanto de água é consumida, especificamente pelos muitos usuários em pequena escala, sejam de águas subterrâneas bem como superficiais (Van der zaag *et al.*, 2010), e não existindo um modelo de alocação que forneçam procedimentos empíricos e metodológicos para o compartilhamento equitativo (imparcial) da água na bacia do rio Limpopo, poderá constituir um pretexto para guerra entre os países ripários nos próximos anos, associado ao

fato de que os impactos futuros das mudanças climáticas aumentam as incertezas existentes (VAN DER ZAAG *et al.*, 2010).

1.2 Objetivos

A pesquisa apresenta como objetivos:

1.2.1 Geral

Propor um modelo de alocação dos recursos hídricos entre os países ribeirinhos na bacia do rio Limpopo, levando em consideração a natureza fisiológica do curso da água e padrões de utilização dos usuários, bem como as preferências dos representantes dos países em relação aos pesos dos fatores de equidade.

1.2.2 Específicos

Para alcançar o propósito geral, define-se como objetivos específicos:

- Apresentar o processo de gestão de recursos hídricos transfronteiriços;
- Avaliar modelos que agregam as preferências dos decisores em relação aos fatores de equidade a serem considerados no modelo;
- Identificar modelos de alocação de recursos hídricos;
- Aplicar o modelo proposto para o caso do rio Limpopo.
- Analisar os resultados da alocação equitativa.

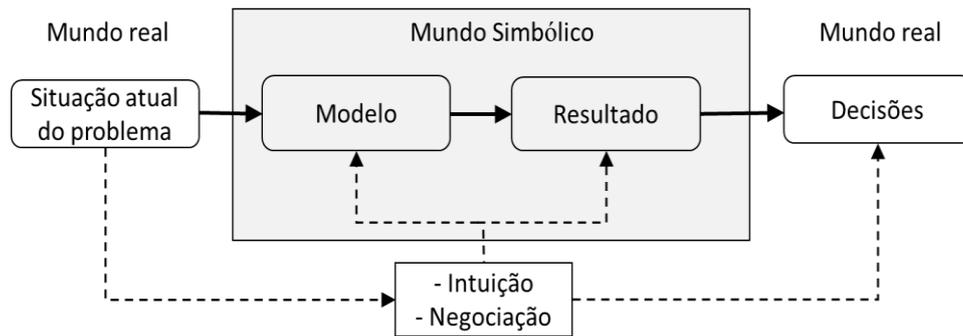
1.3 Metodologia

A metodologia científica, mais do que uma ciência, significa introduzir o discente no mundo de procedimentos sistemáticos e racionais (MARCONI; LAKATOS, 2010). Neste sentido, o estudo dos temas aqui relacionados quanto aos procedimentos técnicos utilizados se identifica como uma pesquisa bibliográfica, visto que foi desenvolvida com base em material já elaborado constituído por livros e artigos científicos e documental baseados em documentos oficiais de uma instituição pública, tais como relatórios e leis (GIL, 2002). Quanto ao tipo de pesquisa pode se considerar como exploratório-descritivo, pois descrevem um determinado fenômeno, apresentado como estudo de caso para o qual são realizadas análises empíricas e teóricas (Marconi; Lakatos, 2010), por meio de algumas ferramentas de métodos de apoio a decisão multicritério.

O ponto de partida para o desenvolvimento do estudo, foi a análise de conceitos básicos relacionados a gestão de bacias hidrográficas transfronteiriças por intermédio de uma pesquisa bibliográfica ampla junto a diversas fontes (livros, publicações periódicas, artigos científicos, entre outros), considerando uma situação específica, de uma bacia hidrográfica da África Austral através de uma análise documental (relatórios e informes oficiais institucionais, acordos, leis, etc.) com o propósito de se desenvolver um modelo para esta realidade abordada. A pesquisa bibliográfica incluiu os temas relacionados a negociação, decisão em grupo, gestão de recursos hídricos transfronteiriços, métodos multicritérios em decisão em grupo e de agregação de preferências individuais que refletem a preferência do grupo.

A abordagem da pesquisa é qualitativa e quantitativa, pois alguns dos dados junto dos decisores foram captados através do uso de escalas de avaliação numéricas (Hair Jr. *et al*, 2005) e opiniões de profissionais com base na sua experiência. Os dados iniciais que representam as preferências dos decisores, foram obtidos por meio de simulações realizadas pela Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos de Moçambique (Departamento de Rios Internacionais), e relativamente aos dados quantitativos foram extraídos da Monografia da Bacia do Rio Limpopo de Amei (2013) e de LBPTC (2010), que tiveram como ano base o 2012. Contudo, pretende-se chegar ao objetivo geral do estudo desenvolvendo um modelo proposto de alocação de recursos hídricos transfronteiriços que especificam os direitos de uso para cada decisor em função de sua contribuição e participação na utilização do recurso e aplicá-lo para o caso da bacia do rio Limpopo.

Desta forma, a classificação da pesquisa quanto a abordagem científica é de modelagem de problemas no contexto de pesquisa operacional para a tomada de decisões em grupo, onde se procura determinar como melhor projetar e operar um sistema, usualmente sob condições que requerem a alocação de recursos escassos (ARENALES *et al.*, 2007). O processo de modelagem de problema para a tomada de decisão pode ser representado pela figura 1.



Fonte: Adaptado de Lachtermacher (2007).

1.4 Estrutura do trabalho

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, quais serão descritos a seguir:

O primeiro capítulo faz referência a parte introdutória do trabalho, onde são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho e a justificativa, trazendo a motivação para a elaboração do estudo.

Segue o segundo capítulo, referente á fundamentação teórica e revisão de literatura, onde serão abordados conceitos fundamentais para o desenvolvimento do estudo, tais como: a negociação no contexto de recursos compartilhados e partilha de benefícios numa bacia hidrográfica. Serão apresentados alguns modelos de alocação desenvolvidos por alguns autores e também como instrumento de apoio a decisão, serão introduzidos os conceitos básicos dos métodos multicritério no geral e em particular o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) no contexto de decisão em grupo para o cálculo dos pesos dos critérios (representado por fatores de equidade).

O terceiro capítulo, tratará da gestão de recursos hídricos transfronteiriços, fazendo referência o acordo internacional da Convenção das Nações Unidas de 1997 sobre os Direitos dos Cursos de Águas Internacionais (UNWC) e do Protocolo Revisto sobre Cursos de Água Partilhados (2000) vigente na bacia do Limpopo, por fim, serão apresentadas as caraterísticas gerais da bacia hidrográfica em estudo.

O quarto capítulo, apresenta o modelo proposto de alocação desenvolvido, qual fará a descrição das três etapas referente aos procedimentos para aplicação do modelo no estudo.

O quinto capítulo, representa o estágio de aplicação do modelo proposto e apresentação dos resultados da alocação ótima que especifica os direitos de uso das águas da bacia por cada decisor.

E por fim, o sexto capítulo, acomoda as conclusões obtidas referentes aos resultados da alocação ou partilha equitativa do recurso hídrico na bacia do rio Limpopo, destacando os

impactos sociais, económicos e ambientais do modelo desenvolvido, limitações para no desenvolvimento da pesquisa, suas contribuições e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

A base conceitual que é utilizada neste capítulo serve de fundamento para os conceitos-chaves apresentadas no trabalho. Os conteúdos explorados no presente capítulo facultam subsídios para a construção e proposição de um modelo de alocação no contexto de gestão de recursos hídricos transfronteiriços do curso de águas superficiais de uma bacia hidrográfica entre países que partilham o mesmo rio.

2.1 A negociação no contexto de recursos compartilhados

A negociação pode ser entendida como um processo entre duas ou mais partes a fim de alcançar objetivos através de um acordo nas situações em que existam interesses comuns e conflitantes (ALMEIDA *et al.*, 2012). Existindo assim, um interesse compartilhado entre as partes em encontrar um curso de ação, que traga um ganho mútuo para as partes (SANDMAN, 2009). As negociações diplomáticas, por exemplo, variam muito dependendo da origem do tipo de governo envolvido. Diferentes processos de tomada de decisão exigem estratégias e táticas de negociação radicalmente diferentes. Vários processos distintos são comuns nas estruturas formais e informais descritas: o chefe, ratificação, consenso, e construção de coalizões (SEBENIUS, 2009).

De forma geral as negociações (ALMEIDA *et al.*, 2012) podem ser descritas sob três pontos de vistas principais:

- Distributiva, envolvendo duas partes e um assunto a ser negociado, de forma que cada parte tenta obter a maior vantagem possível; e
- Integrativa, quando envolvem pelo menos duas partes e mais de uma questão a ser negociada, condicionando a integração de recursos de forma a ampliar a questão da negociação e gerar ganhos mútuos para as partes envolvidas.
- Coalizão, quando muitas partes estão negociando muitos assuntos, na busca de valores semelhantes a fim de obterem maiores ganhos conjuntos.

Ainda segundo Almeida *et al.* (2012), negociações envolvendo muitas partes podem ser caóticas, a menos que algumas estruturas sejam impostas externa ou internamente. O papel dos intervenientes externos, terceira parte, se torna mais importante à medida que o número de partes aumenta. E em negociações de muitas partes, pode-se designar uma pessoa com opiniões moderadas para presidir as reuniões. Essa pessoa pode assumir o papel de facilitador responsável de providenciar uma condução eficiente do processo de decisão em grupo utilizando instrumentos que possam agregar as opiniões dos decisores, mediador, árbitro e/ou manipulador de regras.

De acordo com Checkland (2004), qualquer situação em que os seres humanos tentam agir juntos será complexa simplesmente porque os indivíduos são autônomos. Percepções compartilhadas, essenciais para a ação corporativa, terão que ser estabelecidas, negociadas, argumentadas, testadas, em um processo social complexo.

No que se refere a água, entende-se no geral que este é um recurso essencial para praticamente todos os setores da sociedade e que as demandas de cada um são diferentes e, muitas vezes, conflitantes (UITTO; DUDA, 2002). Projetos de águas internacionais envolvendo numerosos países que compartilham um corpo de água são necessariamente de natureza complexa, com uma ampla variedade de condições sociais, políticas, econômicas, culturais e fisiográficas que devem ser levadas em consideração, dependendo da natureza da questão da água transfronteiriça prioritária (UITTO; DUDA, 2002). Devido a esses aspectos complexos dos sistemas hídricos transfronteiriços, quando os países compartilham partes de uma bacia hidrográfica, eles tendem a cooperar ou a colidir, as relações dependem da atmosfera geral política, histórica e socioeconômica da bacia hidrográfica compartilhada em geral, dos interesses individuais, coletivos e vontade política dos estados ribeirinhos que a compartilham (ABUKHATER, 2013). A unanimidade é algo difícil de acontecer, especialmente em grupos não homogêneos, muitos fazem uso de processos de votação para resolução de conflitos e tomada de decisão, o que podem ser considerados como coercivos e outros decidem pelo consenso, onde decidem o que é melhor para o grupo, mas isso não significa que a decisão final seja a preferida nas avaliações individuais de todos os participantes (ALMEIDA *et al.*, 2012).

Para negociar a gestão e o desenvolvimento de rios compartilhados internacionais, os ribeirinhos podem concentrar suas negociações na alocação dos direitos da água ou na distribuição dos benefícios derivados do uso da água (SADOFF; GRAY, 2005). A questão de negociação traduz a ideia de partilha de benefícios entre os envolvidos no processo. A repartição de benefícios é definida como qualquer ação destinada a alterar a alocação de custos e benefícios associados à cooperação (EARLE *et al.*, 2010). No entanto, mediante a condição de compartilhamento entre os países, a necessidade de identificar e formular políticas dos benefícios que advém dessa partilha é crucial, embora alguns benefícios sejam difíceis de compartilhar.

Para Turton (2008), esta abordagem de partilha de benefícios é particularmente relevante para a Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral (SADC), devido ao grande número de rios transfronteiriços presentes na região, combinado com o fato de que a distribuição natural da água em toda a região apresenta desafios de desenvolvimento específicos que precisam de uma nova visão clara sobre o compartilhamento de benefícios.

Earle (2010), divide os resultados da cooperação sobre uma bacia hidrográfica compartilhada em categorias políticas, econômicas e ambientais, com base em quatro categorias gerais de benefícios:

- Benefícios para o Rio (quantidade, qualidade, regulação, conservação do solo e outros);
- Benefícios a retirar do Rio (energia hidrelétrica, agricultura, gestão de secas e outros);
- Benefícios resultantes do rio (cooperação versus conflito, desenvolvimento econômico, segurança alimentar);
- Benefícios para além do rio (mercados e comércio, estabilidade regional, e outros).

Segundo Qaddumi (2008), o argumento para compartilhar benefícios é atraente. Uma bacia hidrográfica é um recurso comum, significando que seu uso por um ribeirão (ou mesmo individual) irá necessariamente diminuir os benefícios disponíveis para os outros. Em outras palavras, o uso da água em uma parte da bacia cria efeitos externos em outras partes. Se essas externalidades não forem internalizadas, os benefícios gerais serão reduzidos e o resultado será abaixo do ideal. Assim, tanto a hidrologia quanto a economia concordam que uma bacia hidrográfica deve ser tratada como uma única unidade para manter a integridade física do sistema e internalizar as externalidades.

A questão, então, não é se o conceito de repartição de benefícios é atraente, mas sim como ele pode ser operacionalizado (QADDUMI, 2008).

Os países só entrarão em acordo se obtiverem ganhos (ou maiores benefícios do que apenas por meio de ação unilateral) e se sentirem que receberão uma parte justa desses ganhos. Ainda de acordo a teoria de Qaddumi (2008), as principais partes interessadas na partilha não são apenas países, estados riparianos, mas vários órgãos governamentais nacionais e burocracias setoriais, governos regionais e locais, sociedade civil, usuários individuais de água, indivíduos influentes e outros.

Seguindo a mesma abordagem, vários autores discutiram este assunto com profundidade. Para além de Qaddumi (2008), Sadoff e Grey (2002; 2005) e a SADC (2010) especificaram igualmente, quatro tipos de benefícios (*i*) benefícios para o rio; (*ii*) benefícios do rio; (*iii*) a redução de custos por causa do rio; e (*iv*) benefícios além do rio.

Estudos conceituais mais recentes de práticas e experiências das formas de benefícios associados as águas transfronteiriças desenvolvidas, serviram para apoiar as diretrizes da SADC sobre a partilha de benefícios.

De acordo com a SADC (2010), e conforme anteriormente proposto por Qaddumi (2008), Sadoff e Grey (2002; 2005), as categorias de cooperação e benefícios, podem ser representadas com base na estrutura da Figura 1.

Figura 2 - Exemplo de tipos de benefícios



Fonte: SADC (2010).

A abordagem proposta de compartilhamento de benefícios busca otimizar recursos hídricos escassos em um nível de escala acima do estado-nação soberano (TURTON, 2008). A abordagem reconhece que a interação interestadual é altamente dinâmica com uma gama de atores que são nacionais, subnacionais e supranacionais por natureza, de modo que é possível encontrar exemplos de conflito e cooperação ocorrendo simultaneamente em uma dada bacia hidrográfica (TURTON, 2008).

Segundo Jordânia (2006), a ideia genérica é de que a gestão dos cursos de água internacionais deveria ser realizada tendo em conta os efeitos do consumo noutros países, a existência de recursos hídricos alternativos, a dimensão da população afetada, as necessidades econômicas e sociais dos estados a que os cursos de água dizem respeito, e a conservação, proteção e evolução do curso de água.

2.2 Modelos de alocação de recursos hídricos

Os rios transfronteiriços passam por dois ou mais estados. Isto exige uma partilha dos bens e serviços destes rios pelas nações relevantes, cada uma das quais visa maximizar a sua própria utilização dos recursos resultantes do rio. Como há uma quantidade finita de água disponível nesses sistemas transfronteiriços, sua distribuição costuma se tornar controversa. A otimização da distribuição de água fluvial transfronteiriça deve contribuir significativamente para a prevenção de conflitos dentro das bacias hidrográficas e para o desenvolvimento socioeconômico das respetivas nações envolvidas (LI *et al.*, 2016). Ainda segundo Li *et al.* (2016), a distribuição de água fluvial transfronteiriça deve basear-se numa consideração cuidadosa da integridade territorial e da soberania, e requer uma estreita cooperação de todas as nações que compartilham o recurso. A maneira pela qual um recurso transfronteiriço é gerenciado pode ter implicações para a cooperação econômica internacional, desenvolvimento social e segurança, tornando-se uma questão complexa.

Modelos matemáticos utilizados para alocação de água em bacias transfronteiriças têm sido objeto de várias pesquisas. Estes incluem modelos de otimização lineares ou não lineares que maximizam apenas os benefícios econômicos da alocação de água para diferentes usos. A literatura faz referência de alguns modelos nomeadamente, modelos de otimização multiobjectivo, modelos de tomada de decisão multicritério, modelos baseados em teoria de jogos e modelos de repartição, onde em todos eles são considerados aspetos socioeconômicos, de segurança, políticos e ambientais. Algumas poucas pesquisas focaram na distribuição equitativa e razoável da água em rios transfronteiriços que se baseiam nos princípios gerais da UNWC (AVARIDEH; ATTARI; MORIDI, 2017), o qual será o alvo deste trabalho.

Na próxima seção, serão apresentadas as diferentes vertentes das contribuições dos diferentes autores.

2.2.1 Soluções de Equilíbrio de Nash para distribuição da água transfronteiriça

Desde a década de 1990, a teoria dos jogos tem sido aplicada no contexto da distribuição de recursos hídricos, onde segundo Li *et al.* (2016), num estudo feito por Freeman a teoria de jogos foi aplicada na distribuição dos recursos na bacia do rio Tigre – Eufrates, desenvolvendo dois cenários potenciais de distribuição de água transfronteiriça:

- Cenário 1: ou os países que compartilham um determinado rio transfronteiriço têm boas relações entre si e o rio tem água disponível suficiente para atender às demandas desses países;
- Cenário 2: ou os países que compartilham os recursos fluviais transfronteiriços não conseguem chegar a um acordo por meio de mecanismos diplomáticos (a presença de um "terceiro" que é reconhecido e confiado por todos os interessados tem o papel de mediador).

Li *et al.* (2016) em seu estudo, aplicou o modelo de equilíbrio de Nash para soluções de problemas de distribuição de benefícios da água Transfronteiriça, sendo que os jogadores são os n países que compartilham o mesmo rio. Estabeleceu 4 hipóteses das quais: (i) assumiu-se que a água disponível no rio é limitada, isto é, o recurso é escasso e tem exclusividade; (ii) presumiu-se a existência de alguns conflitos entre os países na área da bacia hidrográfica em relação à distribuição de recursos hídricos transfronteiriços; (iii) supôs-se que os tomadores de decisão em cada país na área da bacia interagem com os tomadores de decisão em pelo menos um dos outros países e (iv) presumiu-se que, para os requisitos de fluxo, as exigências sejam atendidas antes de qualquer repartição ocorrer, de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável.

Na sequência, o autor desenvolveu as seguintes equações:

$$Q_E = \sum_i^n Q_{Ei} \quad (2.1)$$

Onde:

Q_E : representa o requisito mínimo de água ecológica e é determinado com base nos dados do campo;

Q_{Ei} : representa a exigência mínima de água ecológica para cada país;

n : o número de países que partilham a bacia.

Supôs ainda que todo o recurso hídrico em uma determinada bacia fosse representado por Q_a , enquanto que o volume máximo de água utilizável por Q_u , obteve a seguinte equação:

$$Q_a = Q_E + Q_u \quad (2.2)$$

A partir desta equação, o autor concluiu que devido à escassez de recursos hídricos, nenhum país provavelmente renunciará voluntariamente ao seu direito à água do rio, e cada um deles sempre tentará aumentar seu próprio abastecimento de água de outras fontes.

A equação que se segue representa a quantidade de água necessária pelo país i :

$$w_i = q_i + q'_i \quad (2.3)$$

Onde:

- w_i : quantidade de água necessária pelo país i ;
- q_i : quantidade de água do rio captada pelo país i ;
- q'_i : quantidade de água que o país i é capaz de obter de outras fontes.

A estratégia do país i pode ser representada da seguinte forma:

$$(q_i, q'_i) \in (S_i \otimes S'_i) \quad (2.4)$$

Onde:

- $S_i \otimes S'_i$: representa o conjunto de estratégias do país i , e $S_i = [0, Q_i]$.
- Q_i : quantidade máxima de água que o país i poderia extrair do rio transfronteiriço, cujo valor está relacionado a Q_u .

No entanto, a quantidade total de água extraída pelos países a montante $\sum_{k=1}^{i-1} q_k$, pode ser relacionada com outras variáveis da seguinte forma:

$$(e) = \text{Max} \left\{ 0, Q_u - \sum_{k=1}^{i-1} q_k \right\} \quad (2.5)$$

Quando $Q_u - \sum_{k=1}^{i-1} q_k \leq 0$, o recurso hídrico tem sido usado excessivamente pelos países a montante. Nesse cenário, não haveria água disponível para o país i extrair do rio transfronteiriço. Assim o país i precisaria de obter a água de outras fontes, o que significa que $w_i = q'_i$; $S'_i = [0, Q'_i]$.

Assim, $Q'_i = w_i - q_i$, fica claro que a desigualdade $w_i \geq q_i$ é sempre verdadeira. Se, $w_i = q_i$, a água obtida do rio transfronteiriço compartilhado apenas atende à exigência do país i .

Neste estudo, Li *et al.* (2016), fundamentou que a existência de uma solução de equilíbrio de Nash foi provada de acordo com uma função de Nikaido-Isoda, que representa um modelo generalizado de teoria de jogo planar não cooperativo para aplicação em partilha de águas de rios transfronteiriços, estabelecido com base em certas suposições (e estabelecimento de certos parâmetros).

Com base no modelo apresentado, o autor concluiu que, a estratégia dominante para melhorar a eficiência total do uso da água pelos países a montante era a melhoria da tecnologia de extração de água a custos reduzidos, enquanto que a estratégia dominante para os países a

jusante era a melhoria da tecnologia necessária para obter água de fontes alternativas. Com os crescentes laços internacionais, os países da bacia hidrográfica poderiam fortalecer a comunicação e a cooperação tecnológica entre si. Os países a montante podem ajudar os países a jusante a melhorar a tecnologia de trefilação de água, enquanto os países a jusante podem promover a sua tecnologia em relação a fontes alternativas de água aos países a montante. Isso não apenas previne ou reduz os conflitos hídricos entre os países, mas também beneficia todas as partes interessadas economicamente.

Seguindo as explanações, na próxima seção será abordada algumas aplicações do modelo de um procedimento de repartição, conduzido por Aleskerov e Shvydun (2018).

2.2.2 Modelo de alocação baseada no Procedimento Vencedor Ajustado

Entre os modelos clássicos de divisão justa, há um procedimento conhecido de vencedor ajustado que garante que a alocação final seja proporcional (cada lado recebe uma peça que ela percebe ser pelo menos $1/n$ do total), livre de inveja (nenhum agente tem incentivos para trocar sua parte alocada do objeto com qualquer outro agente) e ótimo de Pareto (nenhuma outra alocação pode tornar uma parte melhor sem piorar a outra parte), (ALESKEROV; SHVYDUN, 2018).

Aleskerov e Shvydun (2018), aplicaram o modelo, analisando as preferências dos países interessados em recursos naturais na região do Ártico, que tem sido uma questão de disputas intensas nas últimas décadas. As recentes mudanças climáticas, resultantes do derretimento do gelo, abriram novas oportunidades para a região, as águas do Ártico tornaram-se mais acessíveis para a exploração de petróleo e gás. Além dos recursos energéticos, o Ártico é rico em outros recursos naturais. Existem em particular 450 espécies de peixes na região.

A região do Ártico é compartilhada por oito estados, nomeadamente: Estados Unidos da América (Alasca), Canadá, Finlândia, Dinamarca (pela Groelândia), Islândia, Noruega, Rússia e Suécia. As terras árticas e águas internas são regidas pelas leis de cada estado do Ártico. E os oceanos e a gestão dos recursos naturais marinhos estão definidos na Convenção das Nações Unidas Sobre o Direito do Mar (UNCLOS), assinado por 157 e ratificado por 166 Estados (ALESKEROV; SHVYDUN, 2018).

Com o estabelecimento das fronteiras pouco claras e reivindicações territoriais tornaram o problema ainda mais complicado, fato este, que resultou em muitas disputas sobre como determinar quem tem direito aos recursos do Ártico.

Como resultado, foi proposto um modelo que analisa as preferências em diferentes zonas dos países interessados na região do Ártico e revela a potencial intersecção de interesses mútuos

entre eles. Vários cenários foram discutidos em que os países têm diferentes níveis de interesse em depósitos de gás e petróleo localizados em áreas de outros países, a fim de identificar zonas do mais alto nível de interesse mútuo na região ártica.

Neste modelo, o autor considerou várias alocações baseadas na distância da área e na ideia de que cada país deve ter o mesmo nível de satisfação (técnicas usadas em problemas de divisão justa). O principal objetivo do modelo é definir áreas de interesse mútuo na região do Ártico, apresentando vários cenários.

Propôs-se um modelo que utiliza o critério de troca de zonas (baseado na ideia de superposição), que é semelhante ao procedimento de vencedor ajustado, e a ideia do modelo foi:

- a) Supôs-se a divisão dos países em dois grupos, visto que o procedimento do vencedor ajustado é projetado para o caso de apenas duas partes. Considerou-se cada grupo individualmente e posteriormente dividiu-se os países incluídos nos grupos em dois subgrupos iguais por forma que representassem apenas um membro de cada grupo;
- b) Avaliou-se o interesse pelas áreas disponíveis para cada subgrupo;
- c) Aplicou-se o procedimento do vencedor ajustado e aloucou-se todas as áreas disponíveis entre os dois subgrupos;
- d) Para cada subgrupo, aplica-se os passos 1 e 3, caso haja vários países.

No entanto segundo o autor, são levantadas várias questões ao modelo como:

- Como o procedimento divide um conjunto de países em dois subgrupos iguais?
- Como avaliar o interesse do grupo por áreas na região do Ártico, já que cada membro do grupo tem diferentes preferências?

Ainda segundo Aleskerov e Shvydun (2018), a divisão dos países em dois grupos poderia ser de acordo com a sua localização geográfica, relações internacionais ou interesses mútuos. No entanto, a divisão obtida pode ser subjetiva e questionável. Assim sendo, consideraram o problema do ponto de vista matemático, usando a função de utilidade e propuseram dividir os países em relação ao seu nível de interesse nas zonas árticas, representada pela seguinte equação:

$$\left| \sum_{x \in X} \sum_{k \in N'} (u_k^T(x)) - \sum_{x \in X} \sum_{k \in N \setminus N'} u_k^T(x) \right| \rightarrow \min \quad (2.6)$$

Onde:

- X : Representa um conjunto de áreas do Ártico;

- x : Representa cada área pertencente ao conjunto de áreas do Ártico;
- N : Representa o conjunto de países com interesse nessa região.
- k : Representa cada País que compartilha essa região.
- N' : Representa o subconjunto de países.
- $u_k^T(x)$: Representa a utilidade total de cada área.

E a utilidade total de cada área é representada pela seguinte equação:

$$u_k^T(x) = \alpha O. u_k^O(x) + \alpha G. u_k^G(x) + \alpha F. u_k^F(x) + \alpha M. u_k^M(x) \quad (2.7)$$

Sendo que os parâmetros $\alpha O, \alpha G, \alpha F, \alpha M$, correspondem à importância do petróleo, gás, peixe e recursos marítimos para os países interessados. E, $u_k^O(x), u_k^G(x), u_k^F(x), u_k^M(x)$, a utilidade de cada recurso natural na área, para o país $K \in N$.

No entanto, de acordo com as conclusões do autor, o modelo não garante que a alocação seja livre de inveja entre os países, pois de acordo com a alocação proposta alguns países gostariam de trocar suas áreas alocadas com outros, e o nível de satisfação individual dos países com áreas alocadas não coincide com os de interesse do grupo.

2.2.3 Modelo de compartilhamento de água equitativo e razoável

Este é um modelo empírico, e foi desenvolvido para a quantificação das disposições da Convenção relativas à distribuição equitativa e razoável da água. O método foi aplicado ao *Sirwan-Diyala* rio transfronteiriço compartilhado pelo Irã e pelo Iraque, que se baseiam nos princípios gerais da Convenção das Nações Unidas sobre Recursos Hídricos de 1997 (do inglês, *The 1997 UN Watercourse Convention - UNWC*), (AVARIDEH; ATTARI; MORIDI, 2017).

É um método técnico-legal, aplicado por Avarideh, Attari e Moridi (2017), no qual os aspectos legais são integrados a uma abordagem técnica para a alocação de água em rios transfronteiriços, sendo aplicado com base no estabelecimento de indicadores em conformidade com os fatores de equidade estabelecidos no Artigo 6 da Convenção. Segundo o autor, em alguns outros estudos, os indicadores usados para compartilhar a água não são representativos de todos os fatores estabelecidos no Artigo 6 da Convenção.

No estudo apresentado pelo presente autor, alguns indicadores são definidos com base nos fatores previstos no Artigo 6, onde incluem sete fatores, dezasseis subfatores e seus respectivos indicadores apresentados no quadro 1 a seguir.

Quadro 1- Definição de indicadores com base no artigo 6 da UNWC

| N° do fator | Fator | Sub-fator | Indicador |
|----------------|--|---|--|
| F1 | Recursos naturais | Geografia | Área da bacia em cada país (Km) ² |
| | | Hidrografia | Cumprimento do rio em cada país (Km) |
| | | Hidrologia | Escoamento médio anual da bacia em cada país (m ³ /ano) |
| | | | Descarga anual de águas subterrâneas conectadas (m ³ /ano) |
| | | Clima | Efeitos das mudanças climáticas (%) |
| | | | Precipitação anual da bacia em cada país (mm) |
| Ecologia | Temperatura anual da bacia em cada país (C °) | | |
| Valor do fator | | | Fluxo mínimo ambiental mínimo (m ³ /ano) |
| F2 | Necessidades sociais e econômicas dos Países de cursos de água envolvidos | Necessidades socioeconômicas | Número de cidades dependentes do rio para uso doméstico |
| | | | População dependente do rio em cada país (%) |
| | | | Renda familiar no setor agrícola em cada país (\$) |
| | | | PIB per capita em cada país na bacia (\$) |
| | | | Índice de Desenvolvimento Humano em cada país (%) |
| | | | Desemprego na bacia em cada país (%) |
| Valor do fator | | | População abaixo da linha de pobreza (%) |
| F3 | A população dependente do curso de água em cada País ribeirinho | População existente | População existente na bacia em cada País (pessoas) |
| | | População futura | População futura na bacia em cada país (%) |
| | | Valor do fator | |
| F4 | Os efeitos do uso ou usos dos cursos de água de um Estado em outro Estado | Efeitos quantitativos no país a montante | Usos existentes e potenciais de suas águas produzidas a montante (m ³ /ano) |
| | | Efeitos quantitativos no país a jusante | Dependência a jusante das águas produzidas no país a montante (m ³ /ano) |
| | | Efeitos qualitativos no país a jusante | Índices de qualidade da água |
| Valor do fator | | | |
| F5 | Usos existentes e potenciais do curso de água | Usos existentes | Demanda de água existente (m ³ /ano) |
| | | Usos futuros | Demanda futura de água (m ³ /ano) |
| Valor do fator | | | |
| F6 | Conservação, proteção, desenvolvimento e economia de utilizações e custos das medidas adotadas | Proteção ambiental | Requisitos ambientais em cada país (m ³ /ano) |
| | | Conservação e proteção dos recursos hídricos | Índices de qualidade da água |
| | | | Fundos alocados à engenharia fluvial (\$) |
| | | O custo das medidas adotadas para desenvolver o curso de água | Investimentos bruto em instalações hidrelétricas e Indústrias secundárias na bacia em cada país (\$) |
| | | Economia da água | PIB per capita em cada país (\$) |
| Valor do fator | | | Eficiência de irrigação (%) |
| F7 | A disponibilidade de alternativas, de valor comparável | Fontes alternativas | Índice de estresse hídrico na bacia em cada país/ Escassez de água em cada país (%) |
| | | | Exportação virtual de água (m ³ /ano) |
| | | Usos alternativos | PIB no setor industrial (\$) |
| | | | Modificando o padrão de colheita (m ³ /ano) |
| | | Métodos alternativos | PIB em cada país (\$) |
| Valor do fator | | | |

Fonte: Adaptado de Avarideh, Attari e Moridi (2017).

Os pesos dos fatores são determinados considerando sua importância relativa. De acordo com estes autores, obtida a importância relativa dos fatores e indicadores quantificados, a quota de água equitativa e razoável de cada país é determinada.

Os valores dos fatores para cada país transfronteiriço são determinados pela quantificação de seus subfatores e indicadores relevantes e, pela média dos valores dos indicadores relacionados, com base na seguinte equação:

$$F_{ki} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ki} \quad (2.8)$$

Onde:

F_{ki} : Valor do fator i no País k ($i = 1$ a 5);

i : Número do fator para cada país ribeirinho;

k : Representa cada país ribeirinho;

n : Número de indicadores relacionados ao fator i ;

I : Valor do indicador do subfator para o país ribeirinho k .

A participação de água total de cada país, atendendo aos critérios de uso equitativo e razoável, é determinada pela multiplicação do valor de cada fator pelo seu peso e depois pela soma dos fatores ponderados.

Avarideh, Attari e Moridi (2017), para além de modelar o artigo 6 da convenção, sobre o compartilhamento da água de uma maneira equitativa e razoável, enaltecem o papel de outros princípios de repartição de água, previstos nos artigos 7 e 10 da Convenção considerando a obrigação de não causar dano significativo e prioridade de necessidades humanas vitais.

Os autores concluem que, a abordagem técnico-legal proposta abre o caminho para aumentar a troca de experiências dos Estados do curso de água internacionais e aumentar a sua cooperação para alcançar uma solução ganha-ganha na utilização das águas de um rio transfronteiriço.

2.2.4 Ferramentas de decisão para alocar as águas do rio transfronteiriço

Mimi e Sawalhi (2003), em um dos seus estudos, fazem a aplicação do modelo de partilha de água de rios transfronteiriços com base na lei internacional da água para resolução de disputas de água no processo de negociação. Os negociadores precisam de uma ferramenta de decisão baseada em critérios ou padrões objetivos para alcançar os direitos equitativos dos recursos hídricos compartilhados por todas as partes envolvidas.

A semelhança do modelo apresentado por Avarideh, Attari e Moridi (2017), o princípio fundamental da determinação dos fatores de alocação equitativa foram identificados e estabelecidos com base na lei internacional da água (a *International Law Commission* (ILC), a declaração de Helsinque e a Convenção das Nações Unidas de 1997 sobre os Direitos dos Cursos de Águas Internacionais), e um modelo matemático geral foi derivado em que os direitos proporcionais das águas da bacia do rio Jordão foram determinados para os cinco ribeirinhos.

O modelo foi aplicado aos países do Médio Oriente, particularmente no rio Jordão, compartilhado por Israel, Jordânia, Palestina, Síria e Líbano, e tomou como base nove fatores de equidade quais são apresentados na tabela 1.

Quadro 2 - Fatores associados ao uso equitativo da água

| Fator | Definição |
|----------------------|---|
| F₁ | A geografia da bacia, incluindo em particular a extensão da área no território de cada estado da bacia. |
| F₂ | A hidrologia da bacia, incluindo em particular a contribuição da água por cada bacia. |
| F₃ | O clima que afeta a bacia. |
| F₄ | A utilização anterior das águas da bacia, incluindo, em particular, a utilização existente. |
| F₅ | As necessidades econômicas e sociais de cada estado da bacia. |
| F₆ | A população dependente das águas da bacia em cada estado da bacia. |
| F₇ | Os custos comparativos de meios alternativos de satisfazer as necessidades econômicas e sociais de cada estado da bacia. |
| F₈ | A disponibilidade de outros recursos. |
| F₉ | O grau em que as necessidades de uma instituição podem ser satisfeitas, sem causar dano apreciável e prejuízo substancial a um estado de co-bacias. |

Fonte: Adaptado de Mimi e Sawalhi (2003).

O peso para cada fator, foi calculado com base em um questionário elaborado e enviado a noventa especialistas em água em todo o mundo, incluindo especialistas dos cinco países ribeirinhos. Os especialistas em recursos hídricos que trabalham em instituições de água, universidades e organizações não-governamentais envolvem economistas profissionais, engenheiros de irrigação, engenheiros de recursos hídricos e advogados. A principal tarefa dos especialistas era atribuir um peso para cada um dos nove fatores (a soma de todos os pesos deveria ser cem) (MIMI; SAWALHI, 2003).

2.3 Tomada de decisão em grupo

Decisão em grupo pode ser vista como uma decisão envolvendo dois ou mais decisores, os quais assumirão alguma responsabilidade sobre a escolha (ALMEIDA *et al.*, 2012). Dito de outro modo, é entendida como a redução de diferentes preferências individuais a uma única preferência coletiva (SILVA; MORAIS; ALMEIDA, 2010). Na tomada de decisão em grupo,

os membros do grupo de decisores podem ou não estar localizados no mesmo espaço físico, mas estão cientes da existência um do outro e se percebem como parte do grupo que está tomando a decisão (DESANCTIS; GALLUPE, 1987).

Segundo Palomares *et al.* (2014), em problemas de tomada de decisão em grupo (*Group Decision Making – GDM*) do mundo real, geralmente podem ocorrer situações diferentes, como cooperação e competitividade entre indivíduos, assim como, propostas compatíveis ou incompatíveis. Algumas regras orientadoras, incluindo a regra da maioria, a regra da minoria e a unanimidade, foram propostas para apoiar a tomada de decisão em tais situações. A proposição de tomar uma decisão de grupo com base em preferências está intimamente ligada à própria concepção de o que é frequentemente chamado de sistema democrático, sob o qual a decisão final é uma forma de representar a vontade geral (MORAIS; ALMEIDA, 2012).

De acordo com Morais e Almeida (2012), apoiar um processo de tomada de decisão em grupo se torna intensamente difícil devido à presença de vários tomadores de decisão, cada um com suas próprias percepções sobre a maneira como o problema deve ser enfrentado e a decisão tomada.

Em vista do exposto, alguns procedimentos são propostos para estabelecer uma preferência coletiva com base na agregação de diferentes preferências individuais. A literatura faz referência de duas abordagens principais, a agregação a partir de preferências iniciais dos decisores, onde a agregação entre os decisores é desenvolvida a partir dos dados iniciais de preferência e a agregação a partir dos resultados e escolha finais dos decisores, onde cada decisor apresenta seu resultado final de priorização das alternativas como entrada para o procedimento de agregação e suas prioridades individuais não são tão relevantes (ALMEIDA *et al.*, 2012). Na maioria dos casos, o uso destas abordagens envolve também um problema multicritério, que se torna necessário empregar os métodos de apoio a decisão multicritério como suporte para a agregação de preferências dos decisores.

2.4 Métodos multicritério para decisão em grupo

Um problema de decisão multicritério consiste numa situação em que há pelo menos duas alternativas a se escolher numa visão de múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes, em que se associam variáveis (critérios, atributos ou dimensões) para os representarem e possibilitar a avaliação de cada alternativa (ALMEIDA *et al.*, 2012). E ainda, segundo estes autores, indicam os métodos multicritério como instrumentos de apoio a tomada de decisão para resolver o

dilema dos objetivos conflitantes, que impedem a presença da solução ótima e conduzem à busca da solução de melhor compromisso.

Uma dificuldade natural enfrentada no processo de tomada de decisão surge quando o problema não é analisado por um indivíduo, mas sim por um grupo de pessoas, e se tratando de uma decisão em grupo, envolve para além da complexidade natural do problema, as relações interpessoais entre os membros de um dado grupo decisor e os objetivos específicos de cada indivíduo. Nesta sequência, vários métodos de apoio a decisão multicritério são apresentados na literatura e são divididos em três grupos ou famílias de abordagens que se referem aos princípios de modelagem de preferências, fundamentados em Almeida *et al.* (2012), a citar:

- Os métodos de critério único de síntese – que consiste na agregação de diferentes pontos de vista em uma única função, e fazem parte deste método a Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multiple Attribute Utility Theory - MAUT*), sendo o mais abordado para situações com variáveis probabilísticas; o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), SMARTS (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*), e o MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), abordados em situações de problemas determinísticos.
- Os métodos de sobreclassificação – que consiste na construção das relações de sobreclassificação que representam as preferências estabelecidas pelo decisor de forma a auxiliá-lo na solução do problema (este consiste no enriquecimento as relações de dominância). Enquadram-se neste método as famílias do método ELECTRE (*Elimination Et Choix Tradusant la Réalité*), e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*).
- Os métodos interativos – que consiste em um processo sequencial composto de várias interações, e cada interação compreende uma fase de cálculo, durante essas fases o decisor constrói progressivamente o modelo de suas preferências. Destacam-se nestes métodos os de programação linear multiobjectivo.

Dentre os métodos apresentados, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é a abordagem a ser aplicada no estudo apenas como um método de entrada para o cálculo da importância relativa dos critérios considerados como fatores de equidade para cada decisor. Pois o método permite analisar, determinar e decidir os diversos critérios que influem na tomada de decisão e, conseqüentemente, gerar informações que auxiliem o decisor na tomada de decisão. Os tomadores de decisão avaliam sistematicamente as alternativas de um problema por meio de comparações pareadas entre critérios estabelecidos. Essa comparação pode utilizar dados

concretos das alternativas ou julgamentos humanos como forma de informação subjacente. O principal diferencial do AHP com relação a outras técnicas comparativas está em sua capacidade de conversão e tratamento de dados subjetivos para métodos matemáticos, de outro modo, transforma as comparações, muitas vezes empíricas, em valores numéricos que são processados e comparados (SANTOS; CRUZ, 2013).

2.4.1 O método AHP na decisão em grupo

A decisão em grupo envolve diversas variáveis quantitativas e qualitativas. Na impossibilidade de contar com métodos mais apropriados de análise e ponderação dessas variáveis geralmente os decisores acabam recorrendo ao pensamento intuitivo para tomar uma decisão. No entanto esse procedimento qualitativo envolve um modelo que processa cada uma das variáveis, as compara em termos de importância relativa e produz uma resposta ao problema. Um dos problemas a serem resolvidos é a atribuição de pesos ou importância relativa para cada uma das variáveis que quantificam ou qualificam alguns indicadores. Um dos métodos propostos pela literatura para obtenção de pesos para indicadores é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP), proposto por Thomas L. Saaty (2000), é uma das técnicas de decisão multicritério mais comumente aplicadas em diversas áreas do conhecimento, dada a sua característica de incorporar em sua análise critérios quantitativos e qualitativos. Forman e Peniwati (1998), argumentam que os julgamentos representam proporções de quantas vezes mais importante (preferível) um fator é em relação ao outro. Ele combina aspectos tangíveis e intangíveis para derivar uma escala de razão, a escala abstrata de prioridades, que é válida para tomar decisões complexas. Duas das principais características dessa abordagem são:

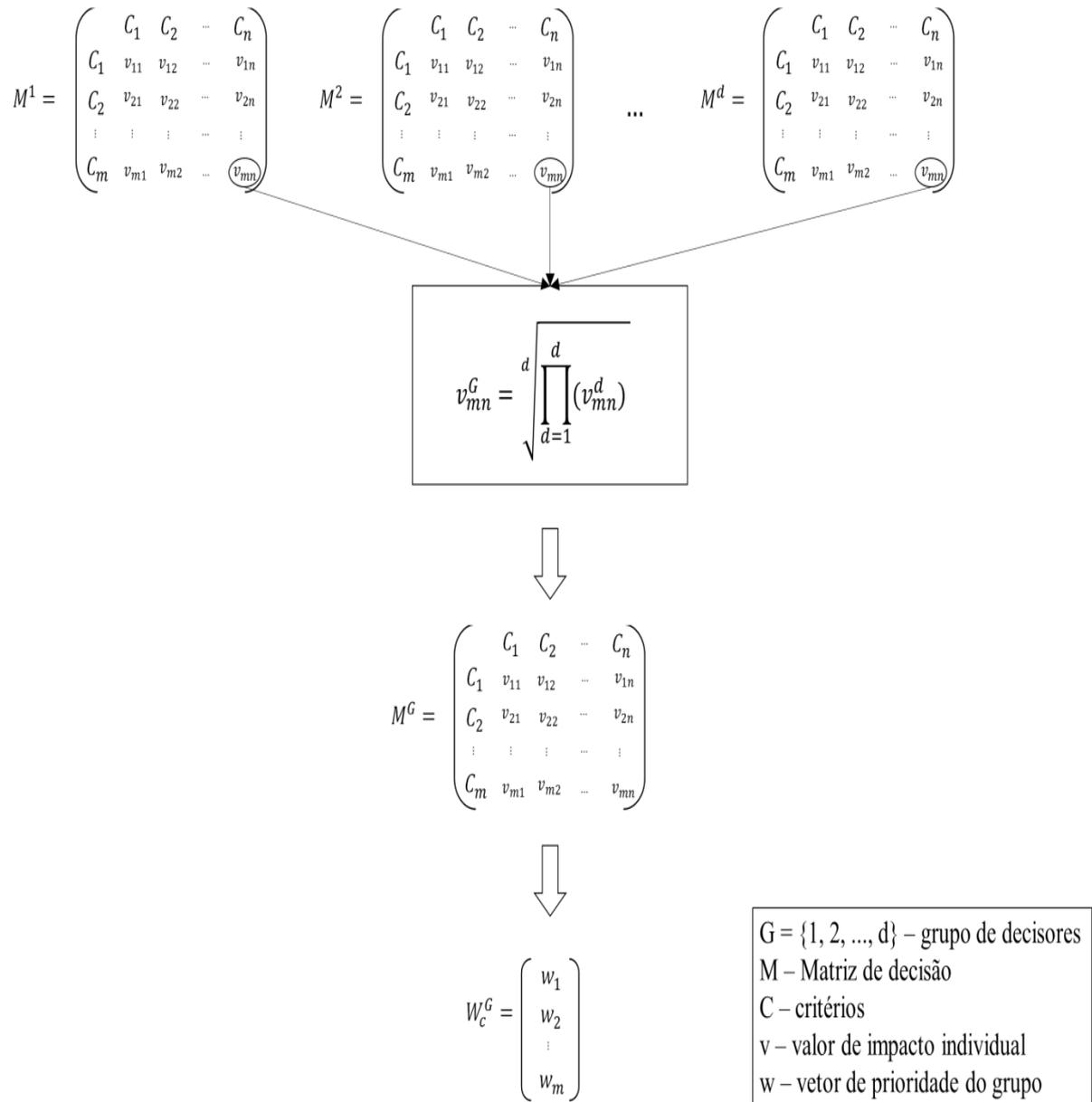
- (i) a existência de uma medida analítica para avaliar a inconsistência do tomador de decisão ao extrair os julgamentos e,
- (ii) as possibilidades que o AHP oferece na tomada de decisão em grupo (ESCOBAR; AGUARÓN; JIMÉNEZ, 2004).

No contexto de tomada de decisão em grupo (RAMANATHAN; GANESH, 1994; FORMAN; PENIWATI, 1998), o AHP considera duas principais abordagens:

- A agregação de julgamentos individuais (AJI) e ,
- A agregação de prioridades individuais (API).

A agregação de julgamentos individuais (AJI), onde o grupo atua em conjunto como uma unidade. Para este caso, os julgamentos individuais são sintetizados em uma única matriz de decisão, exclusivamente por meio da média geométrica de cada valor de impacto individual, satisfazendo o requisito de reciprocidade, implicando uma agregação sinérgica das preferências individuais de tal forma que o grupo se torna um novo indivíduo. As identidades individuais são perdidas em cada estágio de agregação e o princípio de Pareto é irrelevante (FORMAN; PENIWATI, 1998). Portanto, obtém-se uma única matriz de decisão a partir da agregação das matrizes individuais que reflete a decisão do grupo, e segue-se com a aplicação da estrutura do método AHP em como se tratasse de um só decisor, tanto para análise da importância relativa dos critérios estabelecidos bem como das alternativas, conforme está representado na Figura 3.

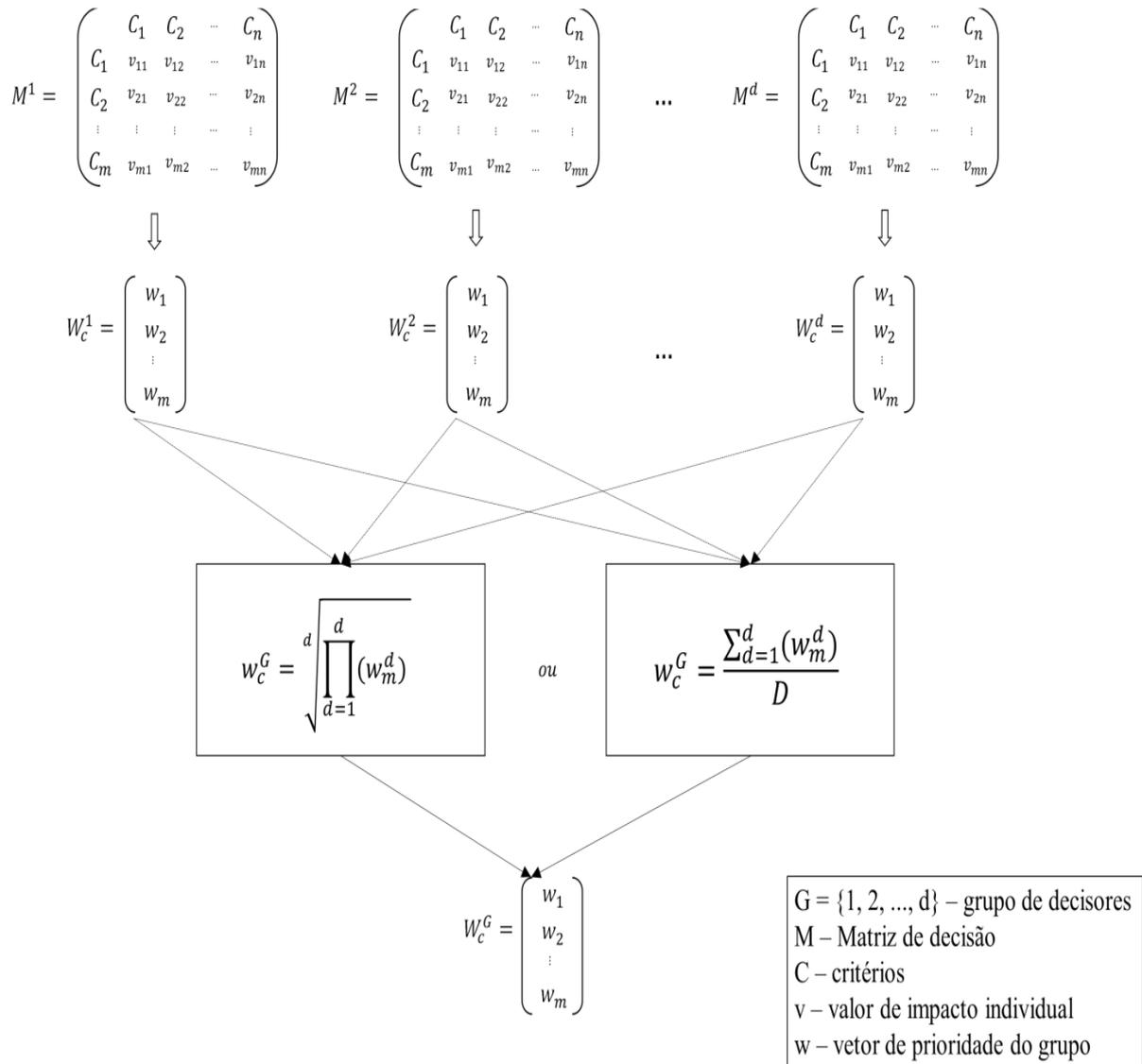
Figura 3- Decisão em grupo com base na agregação de julgamentos individuais



Fonte: A autora (2019).

A agregação de prioridades individuais (API), onde o grupo atua como indivíduos separados. A abordagem API deve ser escolhida quando o grupo decisor for muito heterogêneo e, por algum motivo, tenha dificuldades em chegar a algum consenso. Sendo assim, ele baseia-se no julgamento completo de cada indivíduo do grupo, para agregar como decisão do grupo apenas as prioridades finais obtidas por cada indivíduo. Pode-se tomar uma média geométrica (representando uma razão média) ou uma média aritmética (representando um intervalo médio) para agregação de suas prioridades resultantes (RAMANATHAN; GANESH, 1994), de acordo com a estrutura apresentada na Figura 4.

Figura 4- Decisão em grupo com base na agregação de prioridades individuais



Fonte: A autora (2019).

Segundo estes autores, a decisão por qual dos métodos adotar deve-se às características comportamentais do grupo, isto é, de se assumir que o grupo age em conjunto como uma unidade ou como indivíduos separados. Estes métodos não substituem o papel do decisor, mas constituem ferramentas que fornecem um alicerce capaz de direcionar melhor na decisão a partir da situação apurada pelo decisor e das prioridades estabelecidas. Em ambos os casos pode-se atribuir diferentes pesos aos decisores no processo ou então considerá-los de mesmo grau de importância para a decisão.

No entanto, ambas abordagens orientam o processo de combinar opiniões individuais para obter uma opinião única de grupo. Ainda segundo estes autores, o Método da Média Geométrica (MMG) tem sido o método mais comumente usado no AHP para combinar opiniões individuais

para formar uma opinião do grupo. No caso em que os grupos são grandes e quando os julgamentos são obtidos através do uso de questionários ou avaliações, essas situações precisam de um método objetivo para derivar os pesos dos membros (RAMANATHAN; GANESH, 1994).

Assumindo um contexto real com n alternativas ($A_i, i = 1, 2, \dots, n$) e r tomadores de decisão ($D_k, k = 1, 2, \dots, r$) e $A^{[k]} = (a_{ij}^{[k]})$ a matriz de julgamentos fornecida pelo k -ésimo tomador de decisão ao comparar n elementos ($i, j = 1, \dots, n$), e portanto β_k sendo o peso que k -ésimo tomador de decisão ($k = 1, \dots, r$) tem na formação da decisão do grupo ($\beta_k \geq 0; \sum_{k=1}^r \beta_k = 1$), segundo (RAMANATHAN; GANESH, 1994; FORMAN; PENIWATI, 1998; ESCOBAR; JIMÉNEZ, 2007) tem-se que:

- No âmbito da agregação de julgamentos individuais (AJI), uma nova matriz de comparação par a par para o grupo $A^{[G]} = (a_{ij}^{[G]})$ é obtida agregando os julgamentos individuais:

$$a_{ij}^{[G]} = \prod_{k=1}^r (a_{ij}^{[k]})^{\beta_k}, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.9)$$

O vetor de prioridade para este procedimento ($W^{G/J}$), é derivado dessa nova matriz.

- No que se refere a agregação de prioridades individuais (API), os vetores prioritários são primeiramente obtidos para cada indivíduo $W^{[k]} = W_i^{[k]}$, ($k = 1, \dots, r$) e depois agregados para obter as prioridades das alternativas para o grupo:

$$W_i^{[G/P]} = \prod_{k=1}^r (W_i^{[k]})^{\beta_k}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.10)$$

Em virtude das características comportamentais dos grupos de países do estudo de caso em análise, optou-se pela aplicação da abordagem da agregação de julgamentos individuais (AJI), por constituir um grupo homogêneo, e agir como uma unidade, pois tomam as decisões conjuntas com base na formação de consensos.

2.5 Síntese do capítulo

Neste capítulo foram apresentados os principais conceitos que serviram de base para o entendimento do tema em exposição. Entende-se que a questão de compartilhamento de recursos transfronteiriços insere-se num contexto de negociação entre, quer sejam estados, países, entidades individuais e regiões. As negociações, podem variar muito dependendo da origem do tipo de governo, estado, e entidades envolvidas, pelo que, diferentes processos de

tomada de decisão e governança exigem estratégias e táticas de negociação radicalmente diferentes.

Neste contexto de negociação envolvendo rios internacionais, os ribeirinhos podem concentrar suas negociações na alocação dos direitos da água ou na distribuição dos benefícios derivados do uso da água. Esses benefícios podem ser divididos em diferentes categorias políticas, econômicas e ambientais.

Esta abordagem proposta de compartilhamento de benefícios busca otimizar recursos hídricos escassos, por esse motivo que a partir da literatura, fez-se referência de alguns modelos matemáticos de partilha ou alocação de recursos naturais e hídricos nomeadamente, modelos de otimização multiobjetivo, modelos de tomada de decisão multicritério, modelos baseados em teoria de jogos e modelos de repartição, onde em todos eles são considerados aspectos socioeconômicos, de segurança e políticos.

Entretanto, se tratando de modelos que envolvem grupos, e na possibilidade de contar com métodos mais apropriados de análise e ponderação de variáveis que influenciam os grupos, é referenciado o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), como sendo um dos métodos de decisão multicritério mais comumente aplicado. O AHP geralmente é usado para derivar prioridades com base em conjuntos de comparações entre pares de coisas semelhantes com um mesmo critério ou uma propriedade comum e julgar a intensidade da importância de uma coisa sobre a outra (FORMAN; PENIWATI, 1998). A partir daí, dentro do método é apresentada duas abordagens tradicionalmente empregadas para lidar com a tomada de decisões em grupo, onde ambos os procedimentos requerem a agregação de julgamentos dos tomadores de decisão. Assim, em função das características comportamentais e metodologia de gestão do grupo de decisores da bacia hidrográfica do estudo de caso, foi aplicada a abordagem de agregação de julgamentos individuais (AJI), pois tomam as decisões conjuntas com base na formação de consenso. Nos próximos capítulos serão conciliados estes conceitos com a gestão dos recursos transfronteiriços e na composição do modelo proposto para o recurso em estudo.

3 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS TRANSFRONTEIRIÇOS E A BACIA DO RIO LIMPOPO

Este capítulo tem como objetivo de descrever o processo de gestão de recursos hídricos transfronteiriços com recurso ao uso dos principais instrumentos e estruturas reguladoras existentes que objetivam a melhoria da cooperação e coordenação deste processo num contexto internacional e da região da Comunidade de Desenvolvimento da África Austral. Apresenta as características básicas da bacia hidrográfica do rio Limpopo, localizada na região Sul de África, e mecanismos de gestão do recurso.

A água é um recurso vital e imprescindível à sobrevivência humana, ao equilíbrio dos ecossistemas, para o desenvolvimento económico e social. É caracterizada como um dos principais autores dos processos que ocorrem na natureza, entra na composição das rochas e permanece armazenada nos seus interstícios. E, no entanto, muitas vezes não está disponível no lugar e no momento necessário, pelo que, não tem substitutos conhecidos (BROCH, 2008). Apesar de ser um recurso renovável, a água é caracterizada por sua distribuição desigual no espaço e no tempo (MIRUMACHI, 2015).

Contudo, a água ocupa aproximadamente 70% da superfície do nosso planeta. Sendo que 97,5% da água do planeta é salgada. Da porção de água doce, 68,9% encontra-se nas geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas. As águas subterrâneas correspondem a 29,9% do restante percentual da água doce existente no mundo, e 0,9% são águas que compõe a umidade do solo e dos pântanos e somente 0,3% constitui a porção de água doce existente em rios e lagos (MMA, 2019).

Alguns economistas sugerem que, como qualquer recurso escasso, a água deve ser alocada para seu uso mais eficiente (WOLF, 1999).

3.1 Gestão transfronteiriça

As águas transfronteiriças estendem a interdependência hidrológica para além das fronteiras nacionais, ligando consumidores de diferentes países dentro de um sistema partilhado, e gerir essa interdependência constitui um dos grandes desafios de desenvolvimento humano que a comunidade internacional enfrenta. À medida que a água for escasseando relativamente à procura, a competição transfronteiriça pela partilha dos rios e de outros recursos hídricos também irá aumentar (JORDÂNIA, 2006).

No entanto, nas condições de escassez de água, a principal questão no coração dos conflitos transfronteiriços sobre a água em países áridos e semiáridos é a alocação de água (AVARIDEH *et al.*, 2017). Frequentemente, a alocação de recursos hídricos é contestada com

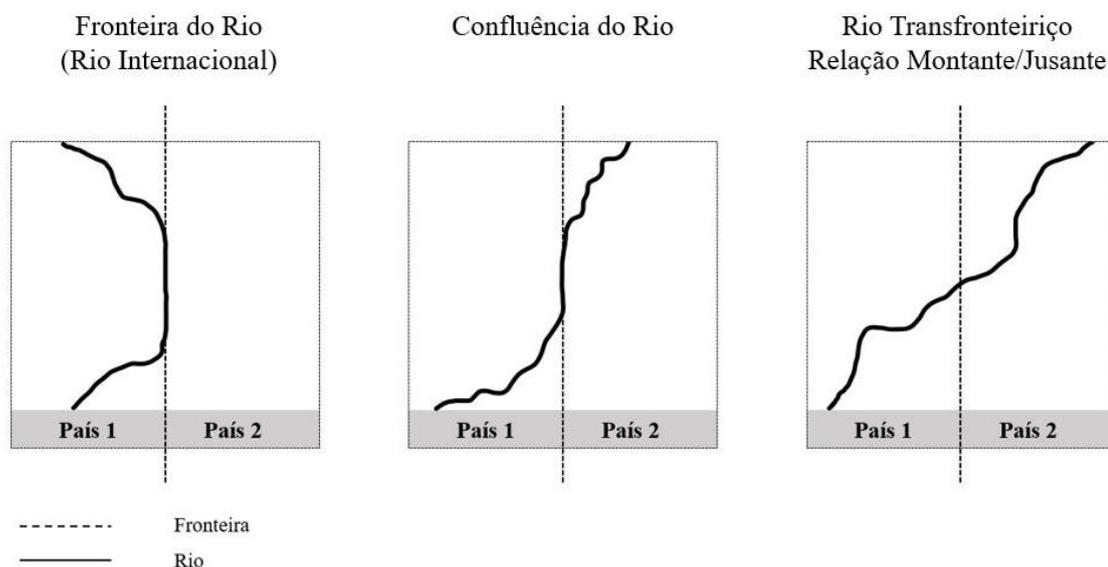
base na equidade. A equidade é, sem dúvida, uma grande preocupação no gerenciamento de conflitos de água (ABUKHATER, 2013).

De acordo com Brels (2008), onde a água é compartilhada entre dois ou mais países, a cooperação entre os Estados envolvidos para possibilitar a gestão integrada de recursos hídricos tem um papel crítico a desempenhar. Quando as comunidades e os recursos em questão abrangem as fronteiras políticas, esses processos se tornam ainda mais complicados (NORMAN, 2014). Para Norman (2014) a governança transfronteiriça da água é profundamente política, pelo que, surge a questão de como devemos governar recursos que abrangem as fronteiras políticas quando nossas instituições e estruturas estão tão vinculadas a um quadro de Estado-nação.

O uso de estruturas reguladoras para melhorar a cooperação e coordenação internacional em relação aos cursos de água transfronteiriços pode fornecer co-benefícios significativos para os Estados ribeirinhos. Nesse processo, a conservação e o uso sustentável da biodiversidade não devem ser considerados apenas um fim em si, mas um meio de sustentar a provisão do ecossistema para o benefício de todos. Para os lagos, todos os Estados ribeirinhos tendem a sofrer de práticas insustentáveis de uso da terra, independentemente de onde ocorram na bacia (por exemplo, erosão/assoreamento e carga excessiva de nutrientes, levam à redução da qualidade da água em detrimento de todos). Para os rios, devido à sua natureza mais linear (montante à jusante), os estados ribeirinhos podem ter interesses diferentes, mas não são independentes (BRELS, 2008).

No entanto, segundo Jordânia (2006) a forma como cada país utiliza a água produz efeitos nos outros países, geralmente através de um dos três mecanismos: competição por uma fonte de água finita, impacto na qualidade da água, e da periodicidade dos fluxos aquáticos. O consumo de água a montante determina as opções a jusante em termos de gestão de água, criando o cenário para a disputa ou para a cooperação. Por outro lado, segundo Abukhater (2013), dependendo do tipo de rio e da natureza da relação entre os estados ribeirinhos conformme mostra a figura 5, a gestão de recursos hídricos pode criar diferentes tipos de problemas e disputas intensas, com um potencial diferenciado para resoluções cooperativas.

Figura 5 - Tipos de rios e relações co-ribeirinhas



Fonte: Adaptado de Abukhater (2013).

Mediante a estas circunstâncias, os governos podem optar entre cooperar ou não cooperar na gestão de águas transfronteiriças. Independentemente da decisão a ser tomada, os rios e outros sistemas hídricos transfronteiriços ligam os países através do estabelecimento de acordos, tratados e leis de partilha de recursos ambientais que determinam as oportunidades de sustento das respectivas populações. A cooperação entre estados com vista à resolução destes problemas é um reflexo da noção de partilha do risco e dos benefícios mútuos que os sistemas fluviais podem proporcionar aos povos (JORDÂNIA, 2006).

Apesar das diferenças nestes países em termos de necessidades e agendas nacionais com relação à gestão dos recursos hídricos, todos eles devem cooperar para alcançarem os seus objetivos.

3.2 Leis internacionais da gestão de recursos hídricos transfronteiriços

A comunidade internacional não chegou ainda a um acordo sobre um mecanismo ou convenção uniforme que atenda as especificidades de todos países ribeirinhos na gestão dos recursos hídricos transfronteiriços, num contexto transfronteiriço onde diferentes sistemas políticos, leis e valores convergem (NORMAN, 2014). No entanto, alguns princípios consuetudinários e gerais do direito internacional relacionados com água tornaram-se a base das principais convenções, tratados e acordos internacionais para a gestão de recursos hídricos transfronteiriços (RAHAMAN, 2009).

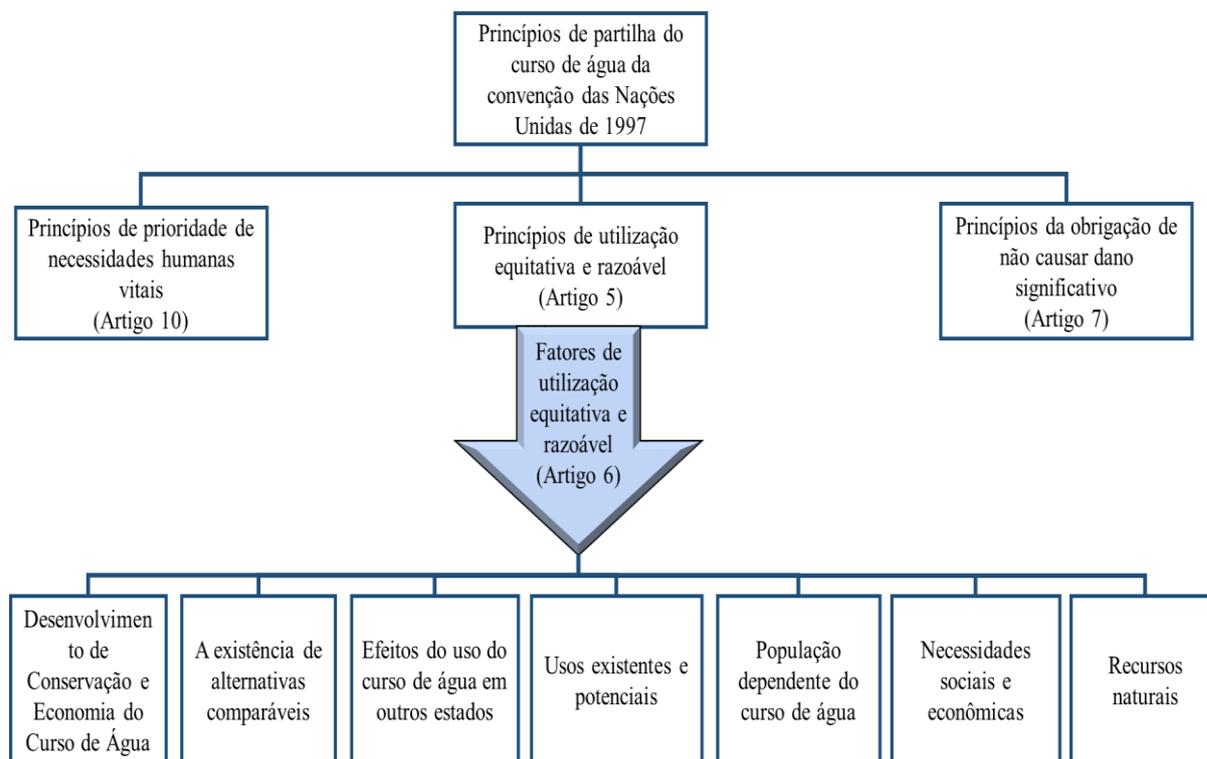
Destacam-se como principais, as Regras de Helsínquia dos Usos das Águas dos Rios Internacionais (1966), a Convenção das Nações Unidas sobre Usos Não-Navegáveis dos Cursos de Água Internacionais (1997), etc.

Segundo Rahaman (2009), estas leis internacionais estabelecem alguns princípios de direito internacional aplicáveis à gestão de recursos hídricos transfronteiriços que são aceitos globalmente e incorporados em convenções, acordos e tratados internacionais modernos, nomeadamente, o princípio da utilização equitativa e razoável, a obrigação de não causar dano significativo, princípios de notificação, consulta e negociação, princípios da cooperação e troca de informações e, solução pacífica de disputas. Na sequência, um outro princípio que veio a surgir, o da integridade territorial absoluta, que estabelece o direito de um estado ribeirinho exigir a continuação do fluxo natural de um rio internacional para o seu território a partir dos altos ribeirinhos, mas impõe um dever a esse estado de não restringir esse fluxo natural de águas a outros estados ribeirinhos (SALMAN, 2007).

O Princípio da utilização equitativa e razoável apresentado na figura 6, alvo deste trabalho, concede a cada estado da bacia uma parcela razoável e equitativa dos recursos hídricos para os usos benéficos em seu próprio território (Artigo IV das Regras de Helsínquia de 1966 e Artigo 6 da Convenção das Nações Unidas sobre Direito dos Usos Não-Navegacionais dos Cursos de Água Internacionais, 1997), (RAHAMAN, 2009). Atualmente, a questão crítica diz respeito a quê estado tem direitos de usar a proporção das águas que flui em um rio transfronteiriço (BEAUMONT, 2000).

A Convenção das Nações Unidas sobre Recursos Hídricos de 1997 é a principal fonte em direito internacional dos rios transfronteiriços, que contém 7 partes e 37 artigos. As partes I e II são dedicadas ao compartilhamento da água, que compreende 3 princípios, 4 artigos, 7 fatores quanto à utilização equitativa e razoável (AVARIDEH *et al.*, 2017).

Figura 6 - Fluxograma da partilha de água do UNWC de 1997



Fonte: Adaptado de Adaptado de Avarideh, Attari e Moridi (2017).

A teoria baseada na igualdade de todos os estados ribeirinhos no âmbito desta convenção, inclui tanto o direito de usar as águas do rio compartilhado quanto o dever de não causar danos significativos a outros estados ribeirinhos. No entanto, elaborar os detalhes da relação entre esses dois princípios mostrou-se bastante complexo e desafiador (SALMAN, 2007).

Mirumachi (2015) argumenta que existem vários mecanismos que orientam a alocação e utilização equitativa da água: alocação quantitativa, alocação percentual, repartição de benefícios. Para abordar a crescente preocupação com a crise global da água, estruturas jurídicas internacionais como a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito dos Usos Não-Navegacionais dos Cursos de Água Internacionais foram estabelecidas para fomentar a cooperação em águas compartilhadas.

O mais importante é que muitas vezes é difícil conseguir um acordo entre os estados ribeirinhos de um rio transfronteiriço quanto à maneira ideal pela qual os recursos hídricos devem ser desenvolvidos. No entanto, a outra questão que se coloca, é o fato de que uma porção de um rio transfronteiriço localizado em um país pode formar apenas uma parte relativamente pequena do território daquele país. Isso pode significar que a maneira pela qual o país deseja integrar essa porção do rio transfronteiriço em sua economia nacional pode levar a um conflito

de interesses com os outros estados ribeirinhos (BEAUMONT, 2000). Ainda segundo este autor, a visão muitas vezes expressa pelos estados a montante, onde a maior parte da água do rio é frequentemente gerada, é a da "soberania territorial absoluta", nesta visão, afirma-se que um estado é livre para fazer o que quiser com qualquer água dentro de seus limites. Mas estas leis e tratados que emergiram vieram restringir as visões extremas de "absoluta soberania territorial" na medida em que elas não são mais amplamente aceitas. Os princípios estabelecidos se concentram nos direitos de um Estado de usar água dentro de suas fronteiras, mas ao mesmo tempo reconhecem que um estado tem responsabilidades em relação a outros estados que podem ser prejudicados por suas ações. São estes princípios que agora constituem uma parte importante da moderna lei transfronteiriça de recursos hídricos, que com o desenvolvimento das regras internacionais sobre a água durante este século, a frase chave que foi adotada é que os usos da água devem ser equitativos e razoáveis, não considerando necessariamente uso de forma igualitária, mas que sua implementação deve ser com base em variáveis representativas que caracterizam as partes envolvidas e atuam como insumo para o processo de negociação (MIMI; SAWALI, 2003).

No entanto, de acordo com a definição utilizada pela Convenção, o princípio da utilização equitativa exige que os Estados ajam de maneira razoável e equitativa ao lidar com os recursos hídricos transfronteiriços em seu território. Exige que a razoabilidade de qualquer utilização seja determinada pelo peso de todos os fatores relevantes e pela comparação do benefício que se teria da utilização com o dano que ela poderia ocasionar aos interesses de outro estado da bacia (PAISLEY, 2002).

3.3 Leis da SADC na gestão de recursos hídricos transfronteiriços

A SADC vê a gestão da água como um instrumento crucial para promover a paz na região da África Austral, através da cooperação transfronteiriça, regional e da harmonização da legislação, políticas e estratégias. A divisão de águas da SADC, aborda questões de gestão de recursos hídricos através do Protocolo Revisto sobre Cursos de Água Partilhados (2000), a Estratégia Regional da Água (2006) e uma série de Planos de Ação Estratégicos Regionais para o Setor da Água (SADC, 2010).

Dentre os principais instrumentos responsáveis pela promoção da governação da água assim como do seu impacto nas bacias hidrográficas, o trabalho destaca a existência do Protocolo Revisto sobre Cursos de Água Compartilhados (2000), que enfatiza o uso equitativo dos recursos hídricos, usando os princípios orientadores da Gestão Integrada de Recursos

Hídricos, a Política de Águas da SADC que fornece um enquadramento legal para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, entre outros, a nível regional (da África Austral).

O Protocolo Revisto sobre Cursos de Água compartilhados da região da SADC, assinado no ano 2000 e entrou em vigor em 2003, foi o primeiro e até então o principal acordo vinculativo entre os Estados-membros da SADC que ilustra a gestão dos recursos hídricos transfronteiriços e o importante papel que a água desempenha na região. Este foi desenvolvido em 1995 com vista a ser alinhado com as Regras de Helsínquia, mas foi revisto a fim de refletir a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito dos Usos dos Cursos de Água Internacionais para Fins Distintos da Navegação (1997), (KSR LIMPOPO, 2019). O acordo é flexível, na medida em que permite aos países da SADC entrar em acordos específicos a nível das bacias, em coerência com a Convenção das Nações Unidas sobre os Cursos de Água Internacionais, e possibilita medidas planificadas como a proteção ambiental, a gestão dos recursos hídricos partilhados, a prevenção e mitigação de situações de risco e situações de emergência (ORASECOM, 2007).

Em seu artigo 2, o acordo (Protocolo Revisto, 2000) estabelece 13 seguintes princípios gerais:

- a) A utilização de sistemas de cursos de água partilhados dentro da região da SADC é aberta a cada Estado ribeirinho ou da bacia, no que diz respeito aos sistemas de cursos de água no seu território e sem prejuízo de seus direitos soberanos, de acordo com os princípios contidos no Protocolo. A utilização dos recursos dos sistemas de cursos de água incluirá usos agrícolas, domésticos, industriais e de navegação.
- b) Os Estados Membros comprometem-se a respeitar e aplicar as normas existentes de direito internacional geral ou consuetudinário relativas à utilização e gestão dos recursos de sistemas compartilhados de cursos de água e, em particular, a respeitar o princípio dos interesses da comunidade na utilização equitativa desses sistemas e recursos e relacionados.
- c) Os Estados Membros situados na bacia de um sistema compartilhado de cursos de água devem manter um equilíbrio adequado entre o desenvolvimento de recursos para um padrão de vida mais alto para seus povos e a conservação e melhoria do meio ambiente para promover o desenvolvimento sustentável.
- d) Os Estados-Membros, no âmbito de um sistema partilhado de cursos de água, comprometem-se a prosseguir e a estabelecer uma estreita cooperação no que se refere ao estudo e execução de todos os projetos suscetíveis de afetar o regime do curso de água.

- e) Os Estados-Membros, no âmbito de um sistema comum de cursos de água, trocarão informações e dados disponíveis sobre as condições hidrológicas, hidrogeológicas, de qualidade da água, meteorológicas e ecológicas desse sistema de cursos de água.
- f) Os Estados-Membros utilizarão um sistema de cursos de água partilhados de forma equitativa. Em particular, um sistema de cursos de água partilhados deve ser utilizado e desenvolvido pelos Estados Membros com vista a alcançar uma utilização ótima e obter benefícios dos mesmos, consistentes com a proteção adequada do sistema de cursos de água.
- g) A utilização de um sistema de cursos de água partilhados de forma equitativa, requer a consideração de todos os fatores e circunstâncias relevantes, incluindo:
 - a. fatores geográficos, hidrográficos, hidrológicos, climáticos e outros de natureza natural;
 - b. as necessidades sociais e económicas dos Estados membros envolvidos;
 - c. os efeitos do uso do curso de água compartilhados em um estado, num outro estado;
 - d. utilizações existentes e potenciais do sistema de cursos de água partilhados;
 - e. diretrizes e padrões acordados a serem adotados.
- h) Os Estados-Membros exigirão que qualquer pessoa que pretenda utilizar as águas de um sistema hídrico partilhado nos seus respetivos territórios para fins que não sejam a utilização doméstica ou que pretenda descarregar todos os tipos de resíduos nessas águas obtenha primeiro uma autorização da autoridade competente do Estado em causa. A licença só será concedida depois de o Estado ter determinado que a descarga prevista não terá um efeito prejudicial sobre o regime do sistema de cursos de água.
- i) Os Estados-Membros notificarão sem demora outros Estados potencialmente afetados e organizações internacionais competentes de qualquer emergência originária dos respetivos territórios.
- j) No caso de implementação ou execução de quaisquer medidas previstas ser urgente para salvar vidas, proteger a saúde pública e a segurança ou outros interesses igualmente importantes em resultado de uma situação de emergência, o Estado-Membro que planeja as medidas pode não obstante o disposto no n.º 9, proceder imediatamente à sua implementação ou execução, desde que, nesse caso,

seja comunicada aos outros Estados-Membros por uma declaração formal da urgência das medidas.

- k) Os Estados-Membros tomarão todas as medidas necessárias para impedir a introdução de espécies aquáticas exóticas num sistema de cursos de água partilhados que possa ter efeitos prejudiciais no ecossistema.
- l) Os Estados-Membros devem manter e proteger os sistemas de cursos de água partilhados e instalações relacionados, a fim de prevenir a poluição ou a degradação ambiental.
- m) Os sistemas de cursos de água partilhados, instalações relacionadas e outras obras, devem ser utilizadas exclusivamente para fins pacíficos em conformidade com os princípios consagrados no Tratado da SADC e na Carta das Nações Unidas e será inviolável em tempo de conflitos internacionais e internos.

A Política Regional de Águas (PRA) foi criada em 2005, e tem o papel de promover a integração regional e combater a pobreza na região da SADC, no entanto, para alcançar estas metas é necessária uma gestão partilhada dos cursos de água transfronteiriços na região, guiada pelos princípios estabelecidos no Protocolo sobre Cursos de Água Partilhados. Assim, uma das características da região é o compartilhamento de sistemas de cursos de água, com direitos complexos de água e potenciais conflitos sobre a utilização dos recursos compartilhados (PRA, 2005).

No entanto, de acordo com a PRA de 2005, o desenvolvimento de recursos hídricos na região ainda enfrenta muitos desafios, no que se refere aos cursos de água compartilhados que atravessam as jurisdições políticas e abrangem vários países com diferentes condições socioeconômicas e direitos complexos sobre a água, servem como uma fonte potencial de conflito, a menos que sejam gerenciados de maneira coordenada, integrada e equitativa. Ao mesmo tempo, os cursos de água compartilhados servem como fontes potenciais de cooperação regional e integração econômica; e quanto a partilha dos benefícios da alocação de água entre os Estados dos cursos de água, tendo em conta o desenvolvimento desigual dos recursos hídricos requerendo avaliação conjunta, planejamento e compreensão da disponibilidade e utilização dos recursos.

3.4 A Bacia do rio Limpopo

A bacia hidrográfica pode ser definida pela presença de um conjunto de drenagem que converge toda a água precipitada até o seu ponto mais baixo, conhecido como exutório

(BERNARDI *et al.*, 2013). Ela pode ser considerada como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório (TUCCI, 2009). Por convenção, o rio principal de uma bacia é a maior linha de fluxo de água que liga uma nascente à foz. Os drenos secundários que conduzem a água diretamente ao rio principal são denominados seus afluentes e, da mesma forma, os rios que confluem para os afluentes são subafluentes do rio principal (BERNARDI *et al.*, 2013).

A bacia hidrográfica do Rio Limpopo situa-se aproximadamente entre os paralelos 22° e 26° Sul e os meridianos 26° e 35° Este. A porção da bacia do Limpopo que se encontra dentro de Moçambique localiza-se entre os paralelos 21° e 25° Sul e os meridianos de 31° e 35° Este. Em Moçambique, a bacia do Limpopo tem como limites a bacia do rio Save a Norte, a Sul com a do rio Incomáti, a Este com uma faixa costeira onde se encontram várias bacias internas (lagoas) e a Oeste com a África do Sul (BRITO *et al.*, 2009).

A Bacia do Limpopo é partilhada por quatro países, nomeadamente a África do Sul, Botswana, Moçambique, e o Zimbabwe, estendendo-se por uma área de aproximadamente a 412.000 Km² (Brito *et al.*, 2009), cuja distribuição por cada país é representada na tabela 1.

Tabela 1 - Área ocupada pela bacia nos quatro países (Km²; %)

| País | Área (Km²) | % |
|----------------------|------------------------------|----------|
| África do Sul | 193 500 | 47,0 |
| Botswana | 73 000 | 17,7 |
| Moçambique | 79 600 | 19,3 |
| Zimbabwe | 66 000 | 16,0 |

Fonte: BRITO *et al.* (2009).

Ao nível dos quatro Países transfronteiriços, destacam-se na bacia do Limpopo onze principais sub-bacias hidrográficas, África do Sul (Sand, Crocodiles, Marico e Olifants), Botswana (Ngotwane e Matlouse), Moçambique (Changane e Elefantes) e Zimbabwe (Mwanedzi, Umzingwani e Shashe). No entanto, numa perspectiva de contribuições para o fluxo do tronco principal do Limpopo, os rios mais importantes, são os rios Crocodile e Olifants na África do Sul e o rio Umzingwane no Zimbabwe. Existe apenas um único tributário¹ em Moçambique, o rio Changane que contribui apenas com uma pequena percentagem do escoamento para o rio Limpopo devido à natureza plana da topografia em Moçambique (AMEI, 2013).

¹ São os rios e cursos de água menores que desaguam em rios principais.

A bacia do rio Limpopo é alimentada por 24 afluentes, dos quais 13 fluem na margem Norte e 11 na margem Sul do rio principal.

Quanto a sua topografia, a bacia do rio Limpopo divide-se em três secções, nomeadamente:

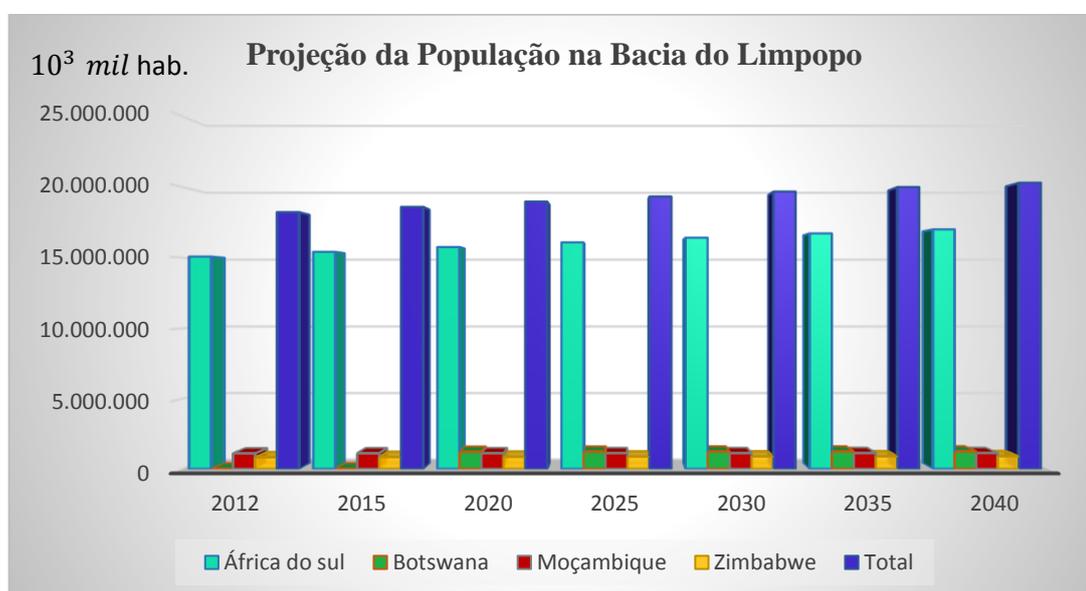
- Alto Limpopo, que vai do troço entre África do Sul e Botswana, até à confluência com o Shashe, na fronteira entre a África do Sul, Botswana e Zimbabwe;
- Médio Limpopo, desde a confluência do rio Shashe até à fronteira com Moçambique (Pafúri);
- Baixo Limpopo, do Pafúri até a foz no oceano Índico (VAZ *et al.*, 2013).

A bacia do rio Limpopo é a quinta maior bacia de África Austral (SADC, 2012), que nasce na confluência dos rios Marico e Crocodilo, na Província de Limpopo da África do Sul e flui para o norte para formar a fronteira com o Botswana, onde continua em forma de arco em direção Este e junta-se ao rio Shashe em Zimbabwe. Deste ponto, ele desce do *Great Escarpment* (Grande Escarpamento) e entra em Moçambique nas proximidades de Pafúri. Daqui o Limpopo passa o planalto costeiro entrando em solo moçambicano, no Norte da província de Gaza (cidade de Xai-xai) e desagua no Oceano Índico (vide figura 7). A bacia hidrográfica do Limpopo, em Moçambique, coincide quase inteiramente com a província de Gaza (98%), ocupando ainda parte de três distritos da vizinha província de Inhambane (2%) (MILHANO, 2008).

Rustenburg e a capital da província de Limpopo, Polokwane. Em Moçambique, a cidade de Xai-Xai e o distrito² de Chokwé estão ambas situadas na bacia (AMEI, 2013).

O gráfico 1 a seguir, mostra a estimativa projetada do número da população residente nos países ribeirinhos da bacia, partindo do ano base de 2012. Segundo os dados da projeção realizada para um período de 20 anos, a população total aumentará de 18 para mais de 20 milhões de habitantes, respetivamente. Sendo que a África do Sul contribui em grande escala para esse aumento. Estima-se que com o aumento da migração urbana e o aumento das atividades de mineração, a demanda por água tenderá a aumentar.

Gráfico 1 - Crescimento da população na bacia do Limpopo



Fonte: Esta pesquisa (2019), dados extraídos do AMEI (2013).

Relativamente ao perfil económico na Bacia do Limpopo, de referir que consiste em várias atividades económicas diferentes. Amei (2013), determina o impacto que o uso da água tem por setor específico, expressos com parâmetros macroeconómicos, dos quais o impacto do valor da água pode ser determinado.

Foi avaliado de forma direta e indireta com base nos principais indicadores económicos apresentados na tabela 2, o impacto das águas do Limpopo, nas seguintes atividades económicas:

- Agricultura de Irrigação

² Tipo de divisão administrativa, é a unidade territorial principal da organização e funcionamento da administração local do Estado e base da planificação do desenvolvimento económico, social e cultural da Republica de Moçambique. O distrito é composto por postos administrativos, localidades e povoações.

- Mineração
- Geração de Energia
- Silvicultura Comercial
- Indústria
- Ecoturismo

Tabela 2 - Indicadores económicos do uso da água por setor

| Atividades económicas | PIB (mil US\$) | Emprego (n^o) | Renda familiar (mil US\$) |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Irrigação | 3.863,4 | 406.618 | 2.291,7 |
| Mineração | 42.960,5 | 1.242.379 | 18.443,5 |
| Geração energia | 6.522,4 | 161.780 | 2.451,8 |
| Silvicultura comercial | 106,0 | 10.787 | 44,7 |
| Indústria | 11.754,0 | 111.045 | 6.425,5 |
| Ecoturismo | 297,3 | 18.325 | 122,8 |
| Total | 65.503,6 | 1.950.934 | 29.780,0 |

Fonte: Amei (2013).

A tabela indica que o setor de mineração gera o maior número de emprego relativamente aos restantes setores, correspondendo a atividade económica predominante na região sul-africana e do Zimbabwe na Bacia do Limpopo, seguida da agricultura de irrigação com um total estimado de 404 618 oportunidades de emprego para os Países ribeirinhos³ e menor provedor de emprego na indústria, silvicultura, ecoturismo e geração de energia.

Para o caso de Moçambique, o sector agrícola de irrigação representa a maior e principal atividade económica desenvolvida na área da bacia do Limpopo, 80% da população da bacia é rural, e dos restantes 20% vivendo nas zonas urbanas (Vaz *et al.* 2013).

Quanto aos requisitos do uso da água por setor, foram projetadas a necessidade de água para o futuro até 2040. Espera-se que as necessidades totais de água para os diferentes fins cresçam para 4 865 milhões m^3/a segundo Amei (2013), conforme mostra a tabela 3 que se segue.

³ África do Sul, Botswana, Moçambique e Zimbabwe.

Tabela 3 - Estimativas de necessidade da água na bacia do rio Limpopo por setor

| País | Requisitos de Água (milhões m^3/a) | | | | | | | Total |
|-------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|-------|
| | Doméstico | Indústria | Mineração | Irrigação | Silvic. | Pecuar. | Energia | |
| RSA | 901 | 327 | 285 | 2352 | 83 | 45 | 223 | 4216 |
| Bots. | 53 | 0 | 0 | 26 | | 20 | 3 | 102 |
| Moz | 32 | | | 129 | | 21 | | 182 |
| Zimb. | 26 | 1 | 1 | 323 | | 14 | | 365 |
| Total | 1012 | 328 | 286 | 2830 | 83 | 100 | 226 | 4865 |

Fonte: Amei (2013).

No que tange as infraestruturas, as principais infraestruturas que afetam os recursos hídricos da bacia são grandes barragens, centrais elétricas e esquemas de transferência de água. A Tabela 4, apresenta o número de infraestruturas existentes nos quatro países (incluindo infraestruturas planejadas ou em construção).

Tabela 4 - Infraestruturas existentes nos quatro países na bacia do Limpopo

| Tipo de Infraestrutura | País | | | | Total |
|---|---------------|----------|------------|----------|-------|
| | África do Sul | Botswana | Moçambique | Zimbabwe | |
| Grandes barragens | 57 | 10 | 2 | 28 | 97 |
| Estações de energia (térmicas) | 11 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Esquemas de Transferência de Água (Inter bacia) | 5 | 0 | 0 | 1 | 6 |
| Esquemas de Transferência de Água (Intra bacia) | 9 | 1 | 0 | 0 | 10 |

Fonte: Amei (2013).

A maior parte das grandes barragens está localizadas em território sul africano, e estão atualmente em construção e aumentarão a necessidade de água em 30 milhões de m^3/a , as centrais térmicas de Medupi e Kusile, respectivamente nas sub-bacias de Mokolo e Olifants. Outras centrais térmicas estão previstas para África do Sul e o Botswana. As centrais hidroelétricas também estão previstas na Barragem de Massingir, em Moçambique, e na Barragem de Manyuchi, no Zimbabwe.

Estima-se que um volume total de 695 milhões de m^3/a é transferido para a bacia do rio Limpopo de outras bacias, e uma quantidade de 60 m^3/a é transferida para fora da bacia por um número de barragens no Limpopo, para abastecimento de água à cidade de Bulawayo

3.5 Gestão de recursos hídricos na bacia do rio Limpopo

A organização de bacias hidrográficas estão no centro da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH). A governança efetiva da água depende do compromisso com os acordos internacionais, leis nacionais apropriadas e instituições que requerem que a água seja gerida de acordo com os princípios da gestão integrada dos recursos hídricos (KSR LIMPOPO, 2019).

Em 2003, representantes dos seguintes países: África do Sul, Botswana, Moçambique e Zimbabwe (figura 9), assinaram um acordo sobre o estabelecimento da Comissão do Curso de Água do Rio Limpopo, denominado LIMCOM.

Figura 9 - localização da bacia do rio Limpopo



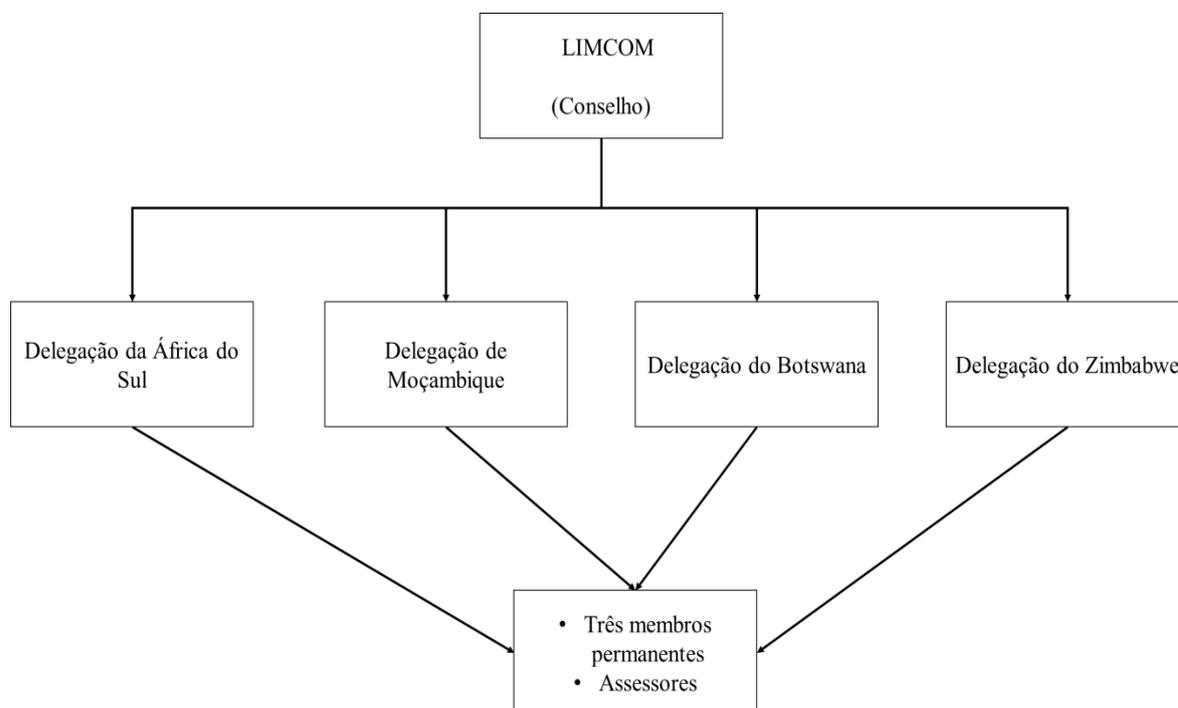
Fonte: DNGRHM (2019).

Os objetivos desta Comissão, conforme descrito no acordo, incluem, aconselhar os países das zonas ripárias e fornecer recomendações quanto aos usos do Limpopo, dos seus afluentes e de suas águas em matérias de proteção, preservação e gestão do Rio Limpopo. Este Acordo reconhece o espírito, valor e objetivos do Protocolo Revisto (2000) sobre os Cursos de Água Partilhados pela Comunidade de Desenvolvimento da África Austral. Reconhece igualmente a Convenção das Nações Unidas sobre a Lei dos Direitos de Utilização dos Cursos de Águas Internacionais e também no seu capítulo 18 da Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento (DNGRHM, 2019).

A Comissão é representada por um conselho, qual constitui o órgão principal da comissão. O conselho deve ser constituído por quatro delegações, e cada uma representando os países envolvidos. Cada Delegação deve ser composta no máximo por três membros permanentes e

assessores (não se limita o número de assessores), conforme está representada na figura 10. E todos os quatro Países ribeirinhos devem participar da nomeação dos seus membros permanentes.

Figura 10 - Organograma da LIMCOM



Fonte: A autora (2019).

O Conselho reúne-se pelo menos duas vezes por ano em sessões ordinárias e a pedido de um dos quatro países ribeirinhos pode se reunir em sessões extraordinárias, uma vez ao ano. Os encontros, geralmente servem para alinhar os planos de desenvolvimento da bacia para uma gestão integrada. Os assuntos são discutidos em plenária, num processo de negociação constante de modo a alcançar um consenso. Dependendo da complexidade e natureza dos problemas, pode-se levar anos a serem resolvidos, pois o consenso nem sempre é alcançado numa única reunião.

A eleição do presidente da Comissão é numa base rotativa com a vigência do ano, assim como as sessões ordinárias são também realizadas numa base rotativa nos territórios dos países ribeirinhos, salvo se o contrário for determinado pelo conselho. A data, hora e local de realização da próxima sessão é determinada pelo conselho, em comum acordo entre os países ribeirinhos.

Atualmente, estão em curso as negociações para a finalização da elaboração da Emenda do acordo sobre o estabelecimento da Comissão do Curso de Água no Rio Limpopo (LIMCOM)

para a inclusão do Conselho de Ministros, como órgão máximo de tomada de decisão ao nível da bacia do Limpopo. A Emenda inclui igualmente o estabelecimento dum comité técnico para assessorar os Ministros responsáveis pelo pelouro de recursos hídricos dos países envolvidos, assim como a inclusão do Secretariado da LIMCOM, que terá o papel de coordenar todas as atividades na bacia do Limpopo, como aspectos relativos a logística no âmbito da preparação das reuniões técnicas e do conselho de Ministros da LIMCOM. A Comissão do LIMPOPO, após a finalização e aprovação da Emenda será representada por um conselho de Ministros, o qual constituirá o órgão principal de tomada de decisão ao nível da bacia do Limpopo (DNGRHM, 2019).

O LIMCOM prevê alguns fatores chave de sucesso que promovem a flexibilidade nos acordos internacionais. Estes incluem o fornecimento de mecanismos de resolução de conflitos, alteração e processos de revisão, cláusulas de revogação e responsabilidades institucionais adequadas. Contudo, o Acordo não especifica estratégias de atribuição de direitos de uso, muito menos aprofunda especificamente a questão da partilha de benefícios entre os países que compartilham o mesmo curso de águas, e isto tem as suas implicações (KSR LIMPOPO, 2019). Até o presente período, não existem modelos empíricos de alocação da água, e nem cotas de uso por cada país na bacia do Limpopo (DNGRHM, 2019).

3.6 Síntese do capítulo

Neste capítulo, foram abordadas questões inseridas na gestão de recursos hídricos transfronteiriços no geral e de forma específica. Percebe-se que independentemente das decisões a serem tomadas, os rios e outros sistemas hídricos transfronteiriços ligam os países ou estados através do estabelecimento de acordos de partilha de recursos. Nesse contexto, fez-se a abordagem de alguns instrumentos legais e acordos que foram estabelecidos a nível internacional, qual, servem de principais instrumentos orientadores a nível mundial e alguns outros instrumentos vigentes a nível da região da SADC, onde está localizada a bacia do rio Limpopo. Um dos principais instrumentos internacionais é a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito dos Usos dos Cursos de Água Internacionais para Fins Distintos da Navegação (1997), qual é o alvo da modelagem deste trabalho a ser apresentado no próximo capítulo. No entanto, estes acordos foram estabelecidos para fomentar a cooperação em águas compartilhadas, o que muitas vezes tem sido difícil de conseguir entre os estados ribeirinhos de um rio transfronteiriço quanto à maneira ideal pela qual os recursos hídricos devem ser administrados.

Sequencialmente, foram descritas as características gerais da Bacia hidrográfica proposta para o estudo de caso, e apresentado o principal instrumento legal vigente para a gestão compartilhada da bacia, o Protocolo Revisto Sobre os Cursos de Água Partilhados pela Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (2000), e a estrutura de funcionamento da Comissão especificamente criada para a gestão integrada da bacia.

O estudo desses elementos apresentados, permite a composição do modelo proposto para o estudo, alvo de reflexão do próximo capítulo.

4 MODELO PROPOSTO DE ALOCAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Neste capítulo será apresentado a proposta de modelo de alocação dos recursos hídricos com base na utilização de um método técnico-legal combinado com um modelo de otimização para obter as porções de direito de uso do curso de água compartilhado para uma bacia hidrográfica. Salienta-se que foi identificado o método técnico-legal para modelar o problema com base no princípio de utilização equitativa, pelo fato dos acordos e leis de águas transfronteiriças nos países da SADC reconhecerem e terem a Convenção das Nações Unidas como base para elaboração os cenários de desenvolvimento e gestão das bacias hidrográficas.

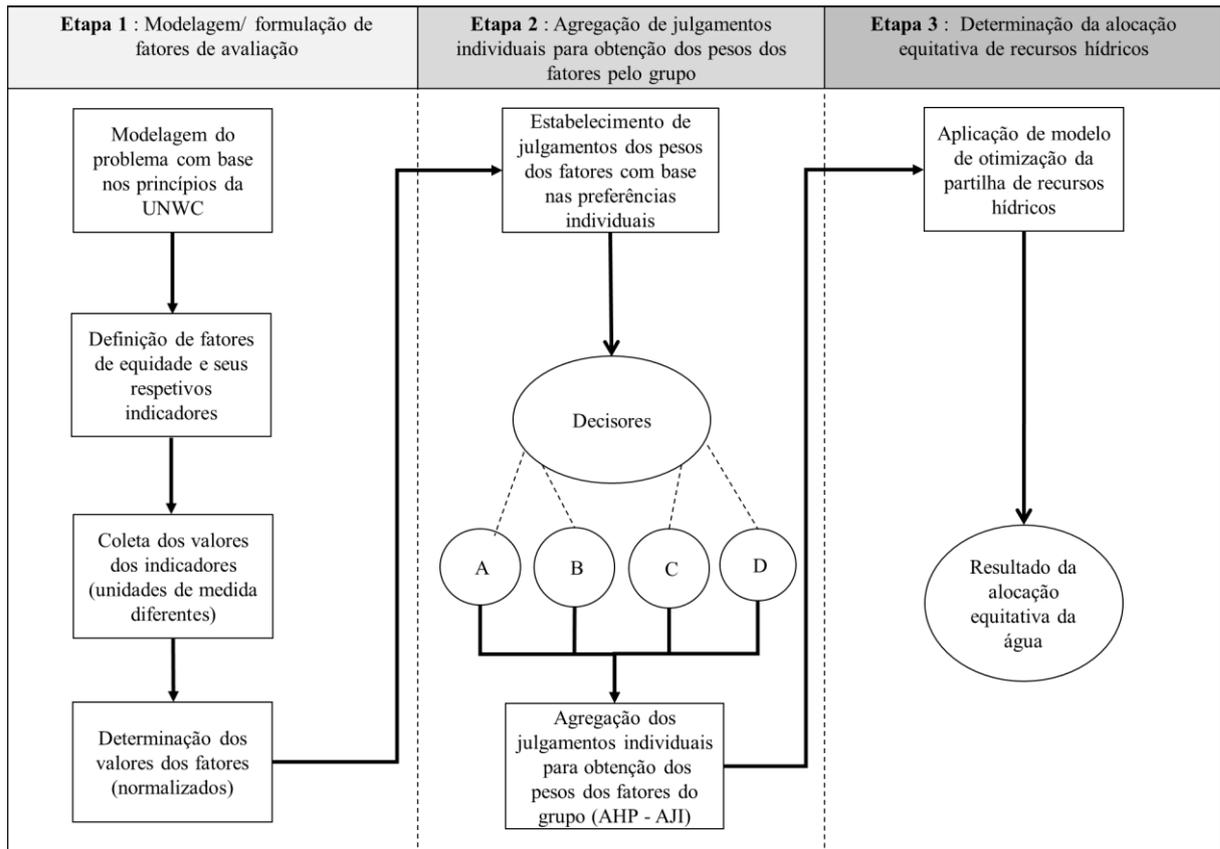
Inicialmente será definido o *framework*, elaborado para descrever as etapas do processo de atribuição das parcelas de direito de usos pelos decisores envolvidos em função de sua contribuição e participação no uso do recurso.

4.1 Estrutura do Modelo

A proposta do modelo de alocação apresentado neste estudo é baseada na união de dois modelos, o de Avarideh, Attari e Moridi (2017), no qual utiliza um método técnico-legal integrado para modelagem do problema a partir dos fatores de equidade referente a utilização equitativa e racional da água do Artigo 6 da Convenção das Nações Unidas sobre Recursos Hídricos de 1997, com vista a quantificá-los na forma de alguns indicadores estabelecidos; e no de Mimi e Sawalhi (2003) baseado no modelo de otimização, qual procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados, tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor de alocação estimado e os dados observados. Estes dois modelos são combinados para a reduzir a diferença nos resultados de alocação uma vez que são utilizados dados com unidades de medidas diferentes de forma a obter resultados mais aproximados da realidade.

Este modelo consiste em 3 principais etapas, e os procedimentos adotados neste trabalho são ilustradas na figura 11 a seguir.

Figura 11 - Fluxograma das etapas do modelo proposto para alocação equitativa de recursos hídricos



Fonte: A autora (2019).

Na primeira etapa, o modelo é baseado nos princípios da UNWC, em conformidade com o seu artigo 6, o princípio equitativo e razoável de alocação da água, segundo Avarideh, Attari e Moridi (2017). Na literatura, o processo de modelagem do problema de decisão é realizado com base em sete fatores de equidade representados no quadro 1. Vale ressaltar que os fatores e seus respectivos indicadores são identificados e estabelecidos pela Convenção, cabendo aos decisores adaptarem as suas especificidades de acordo com os dados ou informação disponível considerados relevantes na sua gestão.

Para o presente estudo de caso a modelagem do problema foi realizada com base em cinco fatores de equidade em conformidade com a disponibilidades de dados existentes na bacia para cada um dos quatro países considerados no estudo. São coletados os dados referentes aos valores dos indicadores nos relatórios e estudos realizados pelas as autoridades competentes e posteriormente são calculadas os valores dos fatores para cada decisor.

Na segunda etapa, é realizada a agregação de julgamentos individuais (AJI) dos decisores. Para o efeito, a estrutura do método *Analytical Hierarchy Process* (AHP), para a obtenção dos pesos dos fatores para o grupo é empregue por meio do método AII, utilizando como dados de entrada os julgamentos dos pesos dos fatores com base nas preferências individuais.

Na terceira etapa, é aplicado um modelo de otimização, para determinar as parcelas de direito de uso da água pelos países ribeirinhos, baseada na minimização da soma do quadrado das distâncias entre o resultado da alocação e os padrões de equidade, fundamentado com base no modelo aplicado por Mimi e Sawalhi (2003).

4.1.1 Etapa 1: Modelagem/ formulação de indicadores de avaliação

Para o propósito do trabalho, o princípio equitativo e razoável é adotado como conceito principal, mantendo em "*ceteris paribus*" os princípios de não causar nenhum dano significativo às necessidades humanas vitais. Os indicadores de avaliação, são definidos com base nos fatores relevantes considerados por Avarideh, Attari e Moridi (2017) e adaptados as especificidades de cada país que incluem subfatores, previstos no artigo 6 da Convenção do curso de água transfronteiriço. O quadro 3 a seguir apresenta a relação dos indicadores que foram considerados para o estudo de caso em causa.

Quadro 3 - Definição de indicadores com base no artigo 6 da UNWC para o rio Limpopo

| N° do fator | Fator | Sub-fator | Indicador | Valor dos indicadores por país | | | |
|----------------|---|--|---|--------------------------------|------------|----------|----------|
| | | | | África do sul | Moçambique | Botswana | Zimbabwe |
| F1 | Recursos naturais | Geografia | Área da bacia em cada País (km²) | | | | |
| | | Hidrologia | Escoamento médio anual da bacia em cada país (Mm³/ano) | | | | |
| | Valor do fator | | | | | | |
| F2 | Necessidades sociais e económicas dos Países de cursos de água envolvidos | Necessidades socioeconómicas | Número de cidades dependentes do rio para uso doméstico | | | | |
| | | | População dependente do rio em cada país (empregados no setor agrícola) (%) | | | | |
| | | | Renda familiar no setor agrícola em cada país (US\$) | | | | |
| | | | PIB per capita em cada país na bacia (US\$) | | | | |
| | | | Emprego na bacia em cada país (%) | | | | |
| | | | PIB no setor industrial (US\$) | | | | |
| Valor do fator | | | | | | | |
| F3 | A população dependente do curso de água em cada País ribeirinho | População existente | População existente na bacia em cada País (Milhões de habit.) | | | | |
| | | População futura | População futura na bacia em cada país (Milhões de habit.)/Taxa de crescimento populacional (%) | | | | |
| | Valor do fator | | | | | | |
| F4 | Usos existentes e potenciais do curso de água | Usos existentes | Demanda de água existente (m³/ano) | | | | |
| | | Usos futuros | Demanda futura de água (Milhões de m³/ano) | | | | |
| | Valor do fator | | | | | | |
| F5 | Conservação, protecção, desenvolvimento e economia de utilizações e custos das medidas adotadas | Proteção ambiental | Requisitos ambientais em cada país (m³/ano) | | | | |
| | | Conservação e proteção dos recursos hídricos | Índices de qualidade da água | | | | |
| | | O custo de medidas adotadas para desenvolver o curso de água | Número de barragens existentes (unidades) | | | | |
| | | Economia da água (Índice de uso) | Uso para irrigação (%) | | | | |
| | | | Uso para Mineração (%) | | | | |
| | | | Uso para a geração de energia (%) | | | | |
| Valor do fator | | | | | | | |

Fonte: Adaptado de Avarideh, Attari e Moridi (2017).

Segundo Avarideh, Attari e Moridi (2017), a lista de indicadores poderá ou não ser exaustiva e poderá ser proposta independentemente da disponibilidade de dados para sua quantificação em uma determinada bacia.

Serão determinados os valores dos fatores que são mensurados por meio de indicadores. O valor de um fator para um determinado país representa o consumo em termos numéricos, desse fator referente a um determinado país. No entanto, os valores dos indicadores por sua vez, foram extraídos de relatórios e estudos realizados nos últimos anos pelos órgãos competentes (DNGRHM). E porque geralmente os dados coletados são apresentados em diferentes unidades de medida, são normalizados para valores percentuais por forma a padronizá-los, facilitar os cálculos e a análise. Assim, o valor do fator é determinado pela média dos valores dos indicadores relacionados, com base na seguinte equação:

$$F_{ni} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m I_{ni} \quad (4.1)$$

Onde:

- F_{ni} : Valor do fator i no País n ($i = 1, \dots, m$);
- i : Número do fator para cada país ribeirinho;
- n : Representa cada país;
- I : Valor do indicador do subfator para o país n .
- m : Número de indicadores relacionados ao fator i ;

4.1.2 Etapa 2: Agregação de julgamentos individuais para obtenção dos pesos pelo grupo

Como procedimento inicial para o cálculo dos pesos dos fatores, os representantes dos quatro países transfronteiriços, irão estabelecer sua estrutura de preferências com base numa escala ordinal de avaliação dos fatores de equidade por ordem de importância, de acordo com a escala estabelecida na Tabela 5, do fator que confere maior importância na sua estrutura de decisão atribuindo a avaliação de um (1), ao menos importante com a avaliação de cinco (5). A escala estabelecida traduz a relação do número um (1) representar o primeiro lugar ou o fator mais preferido e o número cinco (5) o último fator preferido na sequência, sendo que a escala inversa também seria aceitável a se assumir o número cinco (5) como um fator de extrema importância para os decisores. Esta avaliação vai representar a opinião verbal dos decisores.

Tabela 5 - Escala ordinal de avaliação dos fatores

| Escala de avaliação | Avaliação |
|----------------------------|--------------------------|
| 1 | Extremamente importante |
| 2 | Muito importante |
| 3 | Moderadamente importante |
| 4 | Pouca importância |
| 5 | Sem importância |

Fonte: A autora (2019).

A estrutura do método multicritério *Analytical Hierarchy Process* (AHP), é aplicado para obtenção dos pesos dos fatores por meio de Agregação de Julgamentos Individuais, de forma a agregar as preferências dos decisores, pois mostra-se compatível com a metodologia a ser utilizada na proposta deste trabalho. Inicialmente são definidos os critérios representados pelos fatores do problema em estudo, posteriormente (com base na escala fundamental de Saaty-Tabela 7) são realizadas as comparações, julgamentos par a par dos critérios definidos em

conformidade com as preferências já estabelecidas por cada país. Os julgamentos são organizados na forma de matrizes quadradas, chamadas de matrizes de decisão. Os elementos dessa matriz definem a quantidade de vezes que um critério é mais ou menos importante que os demais. Os resultados parciais de um conjunto de critérios para cada decisor são obtidos a partir da matriz de decisão determinada, dando origem aos valores de impacto (a_{ij}), $ij = 1, 2, \dots, n$; e tem a característica de ser recíproca positiva, ou seja, apresenta $a_{ij} = 1/a_{ji}$. O valor de impacto do critério j em relação ao critério i constitui a representação numérica das atribuições verbais dadas pelo decisor a cada comparação dos critérios.

Por fim, os julgamentos iniciais individuais de cada decisor são sintetizados em uma única matriz de decisão por meio da média geométrica de cada valor de impacto individual. Portanto, obtém-se uma única matriz de decisão obtida da agregação das matrizes individuais. Agora com todos os julgamentos agregados, segue-se com a implementação do tradicional método AHP, onde tem-se o tratamento igual ao caso em que há apenas um decisor, destas interações obtém-se o vetor de prioridades representando a importância relativa ou pesos agregados (do grupo) dos critérios para cada decisor.

4.1.3 Etapa 3: Determinação da alocação dos recursos hídricos superficiais compartilhados

O modelo de otimização, procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados, tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor de alocação estimado e os dados observados (MIMI; SAWALHI, 2003).

Baseado nestes autores, o resultado da alocação a ser obtido para cada país, simbolicamente representado pela expressão $Y_n = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, \dots, Y_n)$ especificam os direitos proporcionais das águas da bacia hidrográfica alocados para os diferentes países ribeirinhos, onde as variáveis $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, \dots, Y_n$ representam os direitos para os países 1, 2, 3, 4.... e n -ésimo, respectivamente, e a soma de todos os direitos é igual a 100%.

A função objetivo que vai determinar a alocação, que é definida como aquela que minimiza a soma do quadrado das distâncias (d) entre o valor de alocação estimado e os dados observados para os fatores de equidade é dada pela equação:

$$\text{Minimizar } d = \sum_{i=1}^I W_i \sum_{n=1}^n (Y_{in} - Y_n^*)^2 \quad (4.2)$$

No entanto para que o resultado da alocação seja ótima (Y_n^*), (Mimi e Sawalhi, 2003) torna-se necessário encontrar o ponto onde a primeira derivada da equação (4.2) seja igual a zero ($\frac{\partial d}{\partial Y_n^*} = 0$), do conjunto possíveis de resultados de alocação onde a função objetivo tem seu menor valor, a ser representada pela equação (4.3), e a função objetivo considerou o peso dos fatores de equidade.

$$Y_n^* = \frac{\sum_{i=1}^i W_i Y_{in}}{\sum_{i=1}^i W_i}$$

Onde:

- Y_n^* : (Ótimo) os direitos do k -ésimo país da água compartilhada (%);
- W_i : O peso do i -ésimo fator de equidade (%);
- Y_{in} : a participação do i -ésimo fator de equidade para o país n (%).
- i : Fator de equidade ($i = 1, \dots, 5$);
- n : País ($n = 1, \dots, 4$);
- d : Soma do quadrado das distâncias entre o resultado da alocação e os fatores de equidade;

4.5 Síntese do capítulo

Neste capítulo, foi construído e desenvolvido o modelo proposto de alocação de recursos hídricos transfronteiriços. O modelo apresentado representa uma combinação de dois métodos, o qual é formado por três etapas. São elas: a primeira será realizada o processo de modelagem com base nos princípios da UNWC, em conformidade com o seu artigo 6, o princípio equitativo e razoável de alocação da água e determinados os valores dos fatores de equidade; a segunda, serão agregados os julgamentos individuais de cada decisor por forma a obter o julgamento do grupo e por fim a determinação das parcelas de direito de uso das águas pelos países ribeirinhos. E como critérios de avaliação para a determinação da alocação equitativa, foram estabelecidos sete fatores de equidade com base no Artigo 6 da Convenção das Nações Unidas sobre Recursos Hídricos de 1997, nomeadamente: características naturais, necessidades socioeconômicas, população dependente do curso de água em cada país, demanda de água e Conservação, proteção, economia de utilização da água e custos das medidas tomadas.

Conclui-se com a finalização e o propósito do modelo com uma representação do resultado da alocação ótima descrito como $Y_n^* = (Y_1^*, Y_2^*, Y_3^*, Y_4^*, \dots, Y_n^*)$, o qual será demonstrado por via de uma aplicação prática a ser apresentada no próximo capítulo.

5 APLICAÇÃO DO MODELO DE ALOCAÇÃO EQUITATIVA

No presente capítulo será apresentada uma aplicação do modelo de alocação dos direitos de utilização das águas da bacia do rio Limpopo envolvendo quatro países, nomeadamente, África do Sul, Moçambique, Botswana e Zimbabwe através da simulação de dados e informação obtida da Direção Nacional de Recursos Hídricos de Moçambique, qual reflete informação dos quatro decisores. A aplicação do modelo irá obedecer às etapas descritas no capítulo anterior, onde por meio de uso das ferramentas de decisão multicritério, o AHP foi o modelo multicritério de apoio à decisão utilizado apenas como *input* para determinar os pesos agregados dos fatores de equidade para o modelo matemático de alocação.

Posteriormente, obtido os valores e os pesos dos fatores, segue-se com a determinação dos resultados de alocação ótima das parcelas de utilização das águas da bacia para cada País, através do uso de um modelo de otimização. Serão utilizados dados simulados para a obtenção de julgamentos iniciais dos decisores e para o cálculo dos valores dos fatores para cada decisor serão utilizados dados reais do último estudo realizado sobre a bacia do rio Limpopo por Amei (2013).

5.1 Etapa 1: modelagem/ formulação de indicadores de avaliação

Para atender aos propósitos do presente trabalho, os indicadores de avaliação para este caso específico são definidos com base nos fatores relevantes considerados por Avarideh, Attari e Moridi (2017) e adaptados as especificidades do processo gestão da bacia do rio Limpopo.

Os resultados dos valores dos fatores de equidades junto com os indicadores considerados relevantes que avaliam os subfatores, estão representados no quadro 3 abaixo. Os indicadores são selecionados considerando as informações disponíveis e quantificados tanto quanto possível. O valor dos fatores é calculado por meio da média dos valores dos indicadores (equação 4.1) para cada país (África do Sul, Moçambique, Botswana e Zimbabwe) na bacia do rio Limpopo e os valores são transformados em dados percentuais, qual representam o consumo da água de cada país. Os dados estão disponíveis na monografia da bacia do rio Limpopo, elaborado por Amei (2013).

Fazendo uma breve análise, em todos os fatores os resultados demonstram uma participação de água maior para a África do Sul relativamente aos restantes países. Em sequência, para as características naturais (fator 1), usos existentes e potenciais (fator 4), e conservação, proteção, desenvolvimento e economia de utilização (fator 5), África de Sul, e o

Zimbabwe obtiveram parcelas mais significativas de água comparado com Moçambique e Botswana.

Estes resultados podem ser explicados por diversos aspetos ligados as principais atividades económicas predominantes na bacia (Agricultura de irrigação, mineração, geração de energia, silvicultura comercial, indústria e o ecoturismo), a serem apresentados no próximo capítulo.

Quadro 4 - Valor dos fatores determinados pelos indicadores quantificados (%)

| Nº do fator | Fator | Sub-fator | Indicador | RSA | Moç. | Botsw. | Zimb. |
|-----------------------|---|--|---|------|------|--------|-------|
| F1 | Recursos naturais | Geografia | Área da bacia em cada País | 47 | 19 | 18 | 16 |
| | | Hidrologia | Escoamento médio anual da bacia em cada país | 60 | 9 | 8 | 23 |
| | Valor do fator | | | 53,5 | 13,8 | 13,1 | 19,5 |
| F2 | Necessidades sociais e económicas dos Países de cursos de água em causa | Necessidades socioeconómicas | Número de cidades dependentes do rio para uso doméstico | 55 | 18 | 18 | 9 |
| | | | População dependente do rio em cada país | 78 | 6 | 6 | 10 |
| | | | Renda familiar no setor agrícola em cada país | 74 | 5 | 9 | 12 |
| | | | PIB per capita em cada país na bacia | 94 | 1 | 2 | 3 |
| | | | Emprego na bacia em cada país | 92 | 1 | 3 | 4 |
| | | | PIB no setor industrial | 99 | 1 | 0,0 | 0,0 |
| | Valor do fator | | | 81,9 | 5,4 | 6,4 | 6,3 |
| F3 | A população dependente do curso de água em cada País ribeirinho | População existente | População existente na bacia em cada País | 82 | 6 | 7 | 5 |
| | | População futura | População futura na bacia em cada país | 84 | 6 | 6 | 4 |
| | Valor do fator | | | 83,0 | 6,0 | 6,5 | 4,5 |
| F4 | Usos existentes e potenciais do curso de água | Usos existentes | Demanda de água existente | 63 | 6 | 2 | 29 |
| | | Usos futuros | Demanda futura de água | 87 | 4 | 2 | 8 |
| | Valor do fator | | | 75,0 | 4,8 | 2,1 | 18,0 |
| F5 | Conservação, proteção, desenvolvimento e economia de utilizações e custos das medidas tomadas | Conservação e proteção dos recursos hídricos | Índices de qualidade da água | 46 | 22 | 14 | 18 |
| | | O custo das medidas tomadas para desenvolver o curso de água | Número de barragens existentes | 59 | 2 | 10 | 29 |
| | | Economia da água (em termos de uso) | Uso para irrigação | 78 | 6 | 6 | 10 |
| | | | Uso para Mineração | 94 | 0 | 2 | 4 |
| | | | Uso para a geração de energia | 97 | 0 | 3 | 0 |
| Valor do fator | | | 74,80 | 6,0 | 7,0 | 12,2 | |

Fonte: A Autora (2019).

5.2 Etapa 2: Agregação de julgamentos individuais para obtenção dos pesos pelo grupo

O principal diferencial do AHP com relação a outras técnicas comparativas está em sua capacidade de conversão e tratamento de dados subjetivos para métodos matemáticos, mesmo quando duas variáveis são incomparáveis, baseando-se no conhecimento e experiência de pessoas ou especialistas (SANTOS; CRUZ, 2013).

5.2.1 Estabelecimento de julgamentos individuais

Nesta etapa, a tabela a seguir (Tabela 6) demonstra a obtenção dos resultados das preferências estabelecidas pelos representantes dos quatro países com base na escala ordinal de avaliação dos fatores de equidade apresentada na tabela 5. Ou seja, a priorização dos fatores por ordem de importância que cada um dos países atribui a esses determinados fatores. Esta hierarquia apresentada, servirá como dados de entrada para o cálculo dos pesos de cada fator de equidade para cada país, pois ela reflete a avaliação de cada país ribeirinho com relação a ordem de priorização dos fatores na gestão da bacia. Esta priorização foi obtida através da simulação de dados estimados pelo departamento de rios internacionais da Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos de Moçambique (DNGRHM), e foi realizada com base no cruzamento de informação que consta do Atlas da bacia do Limpopo de 2017 e na Monografia da bacia do Limpopo de 2013, através de julgamentos subjetivos baseados na experiência dos profissionais da área, qual compõem o grupo de membros integrantes da LIMCOM.

Dessa forma, supõe-se que cada país estabeleceu sua hierarquia de preferências com relação aos fatores considerados, do que confere maior importância na sua estrutura de decisão atribuindo a avaliação de um, ao menos importante com a avaliação de cinco.

Tabela 6 - Hierarquia dos fatores por decisor

| Decisor / fatores | F1 Recursos naturais | F2 Necessidades socioeconômicas | F3 População dependente do rio em país | F4 Demanda de água | F5 Conservação, proteção, economia de utilização da água |
|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------|---|
| Decisor - África do Sul | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Decisor - Moçambique | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Decisor - Botswana | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| Decisor - Zimbabwe | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 |

Fonte: DNGRHM (2019).

Em seguida, obtida a estrutura de preferências dos países ribeirinhos, segue-se a fase da elicitação dos julgamentos individuais, para construção das matrizes de decisão de cada país. As opiniões de cada membro representante de cada país, que representam suas preferências, serão elicitadas por meio da estrutura do método AHP, comparando par a par os critérios estabelecidos para cada país. Para tal a escala de relativa importância entre dois critérios, proposta por Saaty, a mais amplamente utilizada, é aplicada para o caso específico, apresentada na Tabela 7.

Tabela 7- Escala fundamental de Saaty

| Escala | Avaliação | Recíproco | Comentários |
|----------------------------|-------------|----------------------|---|
| Igualmente preferido | 1 | 1 | Os dois critérios contribuem igualmente para os objetivos |
| Moderadamente preferido | 3 | 1/3 | A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro |
| Fortemente preferido | 5 | 1/5 | A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente sobre o outro |
| Muito fortemente preferido | 7 | 1/7 | Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado |
| Extremamente preferido | 9 | 1/9 | Um critério é favorecido em relação a outro com o mais alto grau de certeza |
| Valores intermediários | 2, 4, 6 e 8 | 1/2; 1/4; 1/6; e 1/8 | Quando o consenso não for obtido e houver necessidade de uma negociação |

Fonte: Santos e Cruz (2013).

Atribuindo valores que variam entre 1 a 9, a escala determina a importância relativa de uma alternativa com relação à outra, onde 1 corresponde a *igualmente preferido* e 9 a *extremamente preferido*, conforme apresentado na Tabela 8.

Assim, a utilização da estrutura do método AHP, restringe-se apenas até a etapa da determinação dos pesos dos critérios (fatores), representado pelo vetor de prioridades.

As matrizes de julgamentos individuais dos resultados da comparação par a par dos critérios para a determinação dos pesos dos fatores para cada um dos quatro países ribeirinhos estão apresentadas nos quadros que se seguem.

Quadro 5- Matriz de decisão do Representante da África do Sul

| | F_1 | F_2 | F_3 | F_4 | F_5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F_1 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 |
| F_2 | 1/5 | 1 | 1/5 | 1 | 1/5 |
| F_3 | 1 | 5 | 1 | 7 | 1 |
| F_4 | 1/5 | 1 | 1/7 | 1 | 1/5 |
| F_5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 |

Fonte: A autora (2019).

Quadro 6 - Matriz de decisão do Representante de Moçambique

| | F_1 | F_2 | F_3 | F_4 | F_5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F_1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| F_2 | 1/5 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| F_3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| F_4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| F_5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 |

Fonte: A autora (2019).

Quadro 7 - Matriz de decisão de Botswana

| | F_1 | F_2 | F_3 | F_4 | F_5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F_1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 1 |
| F_2 | 1/7 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/7 |
| F_3 | 1/7 | 5 | 1 | 1 | 1/7 |
| F_4 | 1/7 | 5 | 1 | 1 | 1/7 |
| F_5 | 1 | 7 | 7 | 7 | 1 |

Fonte: A autora (2019).

Quadro 8 - Matriz de decisão do Representante do Zimbabwe

| | F_1 | F_2 | F_3 | F_4 | F_5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F_1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 1 |
| F_2 | 1/7 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/7 |
| F_3 | 1/7 | 5 | 1 | 1 | 1/7 |
| F_4 | 1/7 | 5 | 1 | 1 | 1/7 |
| F_5 | 1 | 7 | 7 | 7 | 1 |

Fonte: A autora (2019).

Sequencialmente é necessário verificar a inconsistência dos dados com base no rácio de consistência estabelecido por Saaty. A verificação visa apurar se os decisores foram consistentes nas suas opiniões para a tomada de decisão. Quando os resultados da relação de consistência (CR) < 10%, significam aceitáveis. Para o caso específico em análise, os julgamentos mostraram-se consistentes.

À luz do exposto, o objetivo desta etapa do trabalho é a determinação dos pesos dos fatores agregado, ou seja, os pesos dos fatores para o grupo.

5.2.2 Agregação dos pesos dos fatores

No quadro de tomada de decisões em grupo, o objetivo é obter a importância holística, isto é, a importância relativa global para o grupo, de cada um dos critérios ou fatores considerados. Na sequência, a abordagem considerada para o efeito foi a agregação de julgamentos individuais (AJI), onde o grupo atua em conjunto como uma unidade. Os julgamentos individuais são sintetizados em uma única matriz de decisão, por meio da média geométrica de cada valor de impacto individual, implicando que o grupo se torna um novo

indivíduo e se comporta como um só. As identidades individuais são perdidas em cada estágio de agregação e o princípio de Pareto é irrelevante (FORMAN; PENIWATI, 1998). Portanto, obtém-se uma única matriz de decisão, representando o grupo como único decisor, como resultado da agregação das matrizes individuais de onde é determinado o peso do grupo para cada fator.

Baseados na seguinte equação:

$$a_{ij}^{[G]} = \prod_{k=1}^r (a_{ij}^{[k]})^{\beta_k}, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (5.1)$$

Onde:

$$\sum_{i=1}^4 \beta_{ki} = 1 \quad (5.2)$$

Resultando na matriz a seguir:

Tabela 8 - Matriz de decisão do grupo

| Fatores | F₁ | F₂ | F₃ | F₄ | F₅ |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| F₁ | 1 | 5,91608 | 2,645751 | 3,95632 | 1 |
| F₂ | 0,16903 | 1 | 0,2000 | 0,299070 | 0,16903 |
| F₃ | 0,37796 | 5 | 1 | 1,62658 | 0,377964 |
| F₄ | 0,25276 | 3,34370 | 0,61479 | 1 | 0,25276 |
| F₅ | 1 | 5,91608 | 2,64575 | 3,95632 | 1 |

Fonte: A autora (2019).

A matriz de decisão do grupo é apresentada na tabela 8 anterior, assumindo que todos os decisores têm igual importância. Agora com os dados todos agregados, tem-se o tratamento igual ao caso em que há apenas um decisor, e assim, os pesos do grupo são obtidos para cada critério, e os resultados podem ser observados na tabela 9 a seguir.

Tabela 9 - Pesos dos fatores para o grupo (agregado das preferências individuais)

| Fatores (critérios) | Pesos |
|----------------------------|--------------|
| F_1 | 0,35 |
| F_2 | 0,05 |
| F_3 | 0,15 |
| F_4 | 0,10 |
| F_5 | 0,35 |
| Total | 1 |

Fonte: A autora (2019).

5.3 Etapa 3: Determinação da alocação equitativa de recursos hídricos na bacia do rio Limpopo

Nas etapas anteriores determinou-se os valores dos fatores de equidade para cada decisor e a partir da elicitaco dos julgamentos que representam as preferncias dos decisores obteve-se os pesos de cada fator para o grupo de decisores. Dessa forma, o resultado da alocao ótima Y_n^* que especifica os direitos proporcionais das guas da bacia do rio Limpopo alocados para os diferentes pases, onde a funo objetivo tem seu menor valor, foi dada pela equao a seguir.

$$Y_n^* = \frac{\sum_{i=1}^i W_i Y_{in}}{\sum_{i=1}^i W_i} \quad (5.3)$$

Assim, a partir dos dados j obtidos, e aplicando a fórmula acima apresentada que simboliza o resultado do somatório do produto entre o peso de um determinado fator e o valor desse mesmo fator para determinado pas sobre o total dos pesos dos fatores, tm-se os resultados da alocao ótima que especifica os direitos proporcionais das guas da bacia do rio Limpopo alocado aos quatro ribeirinhos em funo da contribuio e participao que cada pas tem na utilizao do recurso, conforme harmonizado na tabela 10 apresentada a seguir.

Tabela 10 – Resultados da alocação ótima do recurso compartilhado

| Fatores | Peso dos fatores | Valor do fator | | | |
|---------|------------------|----------------|------------|----------|----------|
| | | África do Sul | Moçambique | Botswana | Zimbabwe |
| F_1 | 0,35 | 53,5 | 13,8 | 13,1 | 19,5 |
| F_2 | 0,05 | 81,9 | 5,4 | 6,4 | 6,3 |
| F_3 | 0,15 | 83,0 | 6,0 | 6,5 | 4,5 |
| F_4 | 0,10 | 75,0 | 4,8 | 2,1 | 18,0 |
| F_5 | 0,35 | 74,8 | 6,0 | 7,0 | 12,2 |
| | Y_n^* | 69 | 9 | 8 | 14 |

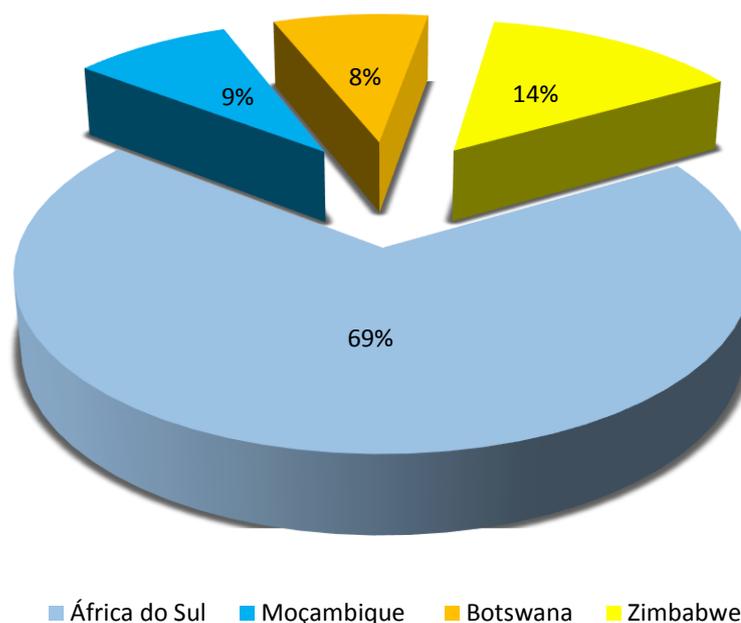
Fonte: A autora (2019).

Sendo representado da seguinte forma:

$$Y_n^* = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$$

$$Y_n^* = (69, 9, 8, 14)$$

Onde, Y_1 representa a África do Sul, Y_2 Moçambique, Y_3 Botswana e Y_4 os direitos para Zimbabwe, cujo a representação dos direitos de alocação pode ser observada na figura 12 a seguir.



Fonte: Esta pesquisa

5.4 Síntese do capítulo

Neste capítulo, foi realizada inicialmente o processo de modelagem do problema com base nos princípios da UNWC, em conformidade com o seu artigo 6, o princípio equitativo de alocação da água partindo da formulação de indicadores de avaliação e em seguida foi estabelecida a hierarquia de preferências dos decisores quanto aos fatores de equidade a partir da simulação de dados estimados pelo departamento de rios internacionais da Direção Nacional de Recursos Hídricos de Moçambique, onde os dados espelham as prioridades de cada país ribeirinho, visto que não foi possível obter a informação diretamente das fontes. Estabelecida a hierarquia de preferências, os critérios representados pelos fatores são avaliados sistematicamente por meio da comparação par a par, utilizando a escala relativa de reciprocidade de Saaty, por meio do AHP. Em seguida, foram construídas as matrizes de decisão para cada decisor, e posteriormente obtidos os pesos do grupo por intermédio do método de Agregação de Julgamentos Individuais.

Por fim são obtidos os resultados da alocação ótima que especificam os direitos proporcionais das águas da bacia do rio Limpopo alocado aos quatro ribeirinhos, em função da contribuição e participação que cada país apresenta na utilização do recurso.

5.5 Discussão de resultados

Os resultados da alocação equitativa dos recursos hídricos da bacia do rio Limpopo, mostraram que África do Sul obteve a maior parcela de direito de uso das águas com 69%, seguido de Zimbabwe com 14%, e os dois países restantes com as menores parcelas de 9% para Moçambique e 8% para Botswana. Estes resultados podem ser explicados, em torno dos fatores considerados, em termos gerais por diversos aspetos levantados por Amei (2013) na monografia da bacia do rio Limpopo.

O rio Limpopo na África do Sul ocupa uma área muito maior relativamente aos outros países, embora possa existir o caso de uma porção de um rio transfronteiriço localizado em um país formar apenas uma parte relativamente pequena do território daquele país. E África do Sul é um país de montante e neste caso, Moçambique representa um país de jusante. Assim sendo, pode existir a possibilidade, da África do Sul super-explorar os recursos compartilhados, pelas condições geográficas do rio que o favorecem.

- Relativamente ao número de cidades dependentes do rio na bacia, compreende uma população estimada em cerca de 18 milhões de habitantes (de acordo com o último estudo realizado em 2012) constituindo deste modo a região na bacia com maior número de habitantes. Pretória, a capital da África do Sul, duas das maiores áreas metropolitanas da África do Sul, Tshwane e Johannesburgo, também estão situadas na bacia, bem como as cidades mineiras de Emalahleni, Rustenburg e Polokwane a capital da província de Limpopo. Bulawayo, a segunda maior cidade do Zimbabwe, situa-se fora da bacia do Limpopo, mas é dependente da água da bacia. Gaborone, a cidade capital do Botswana, e a Francistown, a segunda maior cidade do Botswana, está localizada na bacia do rio Limpopo. Em Moçambique, a cidade de Xai-Xai e o distrito de Chokwé estão ambas situadas na bacia.
- Em termos da população existente e dependente do curso de água, do total existente na bacia, 78% estão localizadas na África do Sul, comparado com os 10% do Zimbabwe e restantes 6% para Moçambique e Botswana respetivamente. E estes índices de acordo com os dados da projeção da população para 2040 apresentados por Amei (2013), tenderão a aumentar de 18 para 20 milhões de habitantes.
- Relativamente ao PIB per capita (mil US\$), gerados por cada país dos benefícios resultantes do rio, os dados apontam que 94% (62 147.7) do PIB é contribuído pela África do Sul, em seguida por Zimbabwe com 3% (1 851.6), Botswana com 2% (1 148.5), e Moçambique com 1% (355.7). E estes resultados são explicados pelas principais atividades económicas que são desenvolvidas na região, nomeadamente: a

agricultura de irrigação, a mineração, indústria, geração de energia, entre outras. A atividade económica predominante na bacia do Limpopo é a mineração, seguida de agricultura, geração de energia e indústria. Sendo que o setor da mineração representa o primeiro maior empregador (empregando 65% da população), seguido pelo da agricultura de irrigação (20%), geração de energia (8%) e indústria (7%) é um empregador menor, mas um setor importante.

A atividade económica predominante na região Sul-africana da bacia do Limpopo é a mineração constituindo o maior provedor de oportunidades de emprego, seguida de agricultura de irrigação e muito mais baixa a indústria de escala e geração de energia. Enquanto que, o sector agrícola de irrigação para Moçambique e Botswana é o maior setor provedor de emprego na bacia. A mineração de menor escala e a agricultura de irrigação são as principais atividades económicas na seção do Zimbabwe na Bacia do Limpopo.

No entanto, estima-se que com o aumento da migração urbana, com isto, o crescimento da população na bacia, e o aumento das atividades de mineração, a demanda por água tenderá a aumentar, (AMEI, 2013).

- No âmbito das infraestruturas existentes, do total de 97 barragens existentes na bacia, 59% (correspondente a 59 barragens) estão localizadas em território Sul africano, 2% (equivalente a 2 barragens) se encontram em Moçambique, 10% (correspondente a 10) no Botswana e 29% (equivalente a 28 barragens) estão no Zimbabwe. Como se pode observar, a maior parte das barragens estão localizadas em território sul africano, e estão atualmente algumas em construção, fato que aumentarão a necessidade de água em 30 milhões de m^3/a (AMEI, 2013). As barragens são construídas para armazenamento de água para vários fins nomeadamente: abastecimento de água para o consumo humano, irrigação, produção de energia, indústria, e para amortecer as ameaças de inundações e secas (que tem sido eventos catastróficos mais frequentes no país a jusante).

Portanto, exposto os fatos, pode-se verificar os elementos que podem em grande parte fundamentar os resultados obtidos. Os resultados da alocação ótima que especificam os direitos proporcionais das águas da bacia do rio Limpopo alocado aos quatro ribeirinhos estão em função da contribuição e participação que cada país tem na utilização do recurso.

6 CONCLUSÕES

A questão de compartilhamento e as discussões sobre como os recursos hídricos devem ser alocados entre os países ou estados que partilham do mesmo, tornou-se um problema real e atual.

Quando a água por intermédio dos rios, transcendem os limites nacionais, este torna-se um problema de natureza transfronteiriça que interligado com ameaças iminentes de escassez tornam a gestão transfronteiriça uma questão crucial que exige mecanismos de cooperação e coordenação. E nesta gestão transfronteiriça dos recursos hídricos, a maioria dos países subscreve princípios internacionais de boa vizinhança, por forma a reconhecer que os países ribeirinhos são mutuamente dependentes e tomam medidas, assinam acordos e instituem organismos através dos quais os problemas emergentes podem ser resolvidos. Mas estes mecanismos podem constituir uma condição necessária e não suficiente.

Desta forma, o estudo foi realizado com o intuito de desenvolver e propor um modelo de alocação ótima equitativa de recursos hídricos transfronteiriços, o qual constitui uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, onde os direitos sobre as águas de todos os países que partilham uma determinada bacia hidrográfica podem ser quantificados considerando que os países envolvidos têm boas relações entre si e são capazes de alcançar acordos relacionados à gestão transfronteiriça de água do rio. Foram encontrados na literatura alguns modelos de alocação de recursos hídricos transfronteiriços são eles os de repartição (de divisão justa), teoria de jogos, de otimização linear e não linear e os técnico-legais e dentre os modelos de alocação apresentados, o estudo teve como base o último método visto que os acordos e leis de águas transfronteiriças nos países da SADC reconhecem e têm a Convenção das Nações Unidas como base para elaboração dos cenários de desenvolvimento e gestão das bacias hidrográficas.

Na aplicação do modelo proposto para o estudo de caso referente a bacia do rio Limpopo localizada na região Sul da África, foram utilizados dados simulados como dados de entrada para a obtenção da estrutura de preferências dos decisores.

Os resultados da alocação equitativa dos recursos hídricos da bacia do rio Limpopo, mostraram que África do Sul obteve a maior parcela de direito de uso das águas com 69%, seguido de Zimbabwe com 14%, e os dois países restantes com as menores parcelas de 9% para Moçambique e 8% para Botswana. Estes resultados foram explicados em torno dos fatores considerados como: recursos naturais, necessidades sociais e econômicas dos países ribeirinhos, população dependente do curso de água, usos existentes e conservação, proteção,

desenvolvimento e economia da água; e em função das principais actividades económicas desenvolvidas como a mineração, agricultura de irrigação, geração de energia, indústria, pecuária, etc.

Nesta dissertação, foram discutidos assuntos julgados relevantes para o desenvolvimento de um modelo proposto de repartição de recursos hídricos transfronteiriços, concluindo que não é necessariamente o conceito de uso de forma igualitária, determinado por intermédio de acordos, que poderá determinar a ausência de conflitos entre os estados transfronteiriços, pelo contrário, isso significa que uma grande variedade de fatores, incluindo população, hidrologia, necessidades socioeconómicas, usos existentes, economia de utilização, e assim por diante, podem ser considerados para alocação dos direitos sobre a água, de forma a melhorar a cooperação, coordenação e utilização.

Os acordos existentes como, o Protocolo Revisto sobre Cursos de Água Partilhados da região da SADC de 2000, e a Comissão do Curso de Água no Rio Limpopo criada de 2003, desempenham um importante papel na gestão dos recursos hídricos transfronteiriços entre os Estados-membros da SADC, mas oferecem soluções teóricas e não práticas que possam otimizar os benefícios dos resultados da partilha.

O modelo proposto apresentado neste estudo de caso da bacia do rio Limpopo, no que se refere ao seu impacto social, tem uma aplicação prática e poderá servir como uma ferramenta adicional para a gestão deste recurso compartilhado. Neste contexto, em regiões onde ainda não existe um modelo de partilha para a gestão integrada da bacia, este poderia ser de grande utilidade tendo em vista a preocupação com o aumento da demanda da água na bacia do rio Limpopo (VAN DER ZAAG *et al.*, 2010), que poderá originar conflitos a longo prazo, vinculado aos níveis de desenvolvimento económico desigual entre os estados, incentiva-se a adoção de medidas e desenvolvimento de modelos de gestão de partilha de recursos hídricos (ÁLVARO; MORAIS; SILVA, 2019). Esta pesquisa também poderá contribuir para que as partes envolvidas no processo decisório de compartilhamento do recurso hídrico, tomem decisões acertadas com base na informação ou dados disponíveis, reduzindo assim o risco do erro na tomada de decisão.

No âmbito económico, o modelo apresentado poderá contribuir para a racionalização de recursos financeiros, na medida em que os custos operacionais de gestão do recurso comum, podem ser reduzidos se cada país potencializar os seus esforços na prática de actividades económicas de maior domínio ao nível da bacia. Por outro lado, o modelo desenvolvido poderá permitir a quantificação dos indicadores económicos para determinar o impacto que o uso da água tem em cada setor (mineração, irrigação, indústria, comércio e geração de energia) e país

ribeirinhos (África do Sul, Moçambique, Botswana e Zimbabwe), expressos pelos indicadores macroeconômicos (PIB, emprego e renda familiar), estabelecendo a quota de participação que cada país tem direitos na utilização do recurso.

Em relação ao impacto ambiental, havendo a necessidade de preservação dos ecossistemas, conciliado com a projeção do crescimento da população ribeirinha de 18 para mais de 20 milhões de habitantes (Amei, 2013), nos próximos anos, o modelo proposto neste estudo de caso, poderá trazer uma nova dinâmica de gestão do recurso hídrico, na medida em que vai determinar a volume máximo de água a ser explorado por cada país com base nos fatores de equidade identificados. Por outro lado, o modelo de partilha mostra-se bastante útil, evitando que a água seja extraída numa velocidade maior do que sua capacidade de reposição, fato que depende das condições climáticas de cada região, associado a questão dos requisitos mínimos de água ecológica (caudal ecológico mínimo) que devem ser observados.

De forma geral o desenvolvimento de modelos matemáticos para a tomada de decisão, forçam a identificação de variáveis a serem incluídas num processo decisório e em que termos elas poderão ser quantificáveis, bem como, coagem aos decisores a tornarem explícitos seus objetivos (LACHTERMACHER, 2007).

Salienta-se que o modelo proposto pode ser replicado em outros países do mundo que apresentem as mesmas características de compartilhamento de recursos hídricos, desde que sejam realizadas as devidas adaptações.

6.1 Limitações

A pesquisa realizada como estudo de caso a bacia do rio Limpopo, para a aplicabilidade de um modelo de alocação relativo aos direitos proporcionais de uso das águas da bacia teve as seguintes limitações:

A falta de cooperação dos países envolvidos com exceção de Moçambique, na disponibilidade de dados referentes as prioridades por ordem de importância que cada país transfronteiriço estabelece para um determinado fator, pelo que, teve que se trabalhar com dados simulados para a determinação dos pesos dos fatores. Em razão de a aplicação ser uma simulação numérica, não foi possível mensurar com exatidão os resultados da aplicação real do modelo proposto.

A falta de disponibilidade de dados e informação atualizada referente a bacia do rio Limpopo, tendo sido utilizados no trabalho dados do último estudo realizado e publicado em 2013.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Assim, sugere-se para trabalhos futuros:

- A pesquisa e construção de novos modelos que utilizem outros métodos de alocação com outras ferramentas de decisão multicritério para atribuição de pesos dos fatores que forem considerados, de acordo com a especificidade do problema, para a comparação com o modelo proposto neste trabalho, afim de enriquecer o conhecimento na área e se explorar outros domínios de gestão transfronteiriça.
- A inclusão em análises futuras dos outros princípios como o da obrigação de não causar danos significativos, com vista a analisar os efeitos da alocação entre os países de montante e de jusante.

Propõe-se a Comissão do Curso de Água da bacia do Rio Limpopo a aplicação do modelo com dados atualizados, de forma a analisar os resultados da partilha equitativa.

REFERÊNCIAS

- ABUKHATER, A. Water as a Catalyst for Peace: transboundary water management and conflict resolution. **Earthscan Studies in Water Resource Management**, p. 1-318, 2014.
- ALMEIDA, A. T. *et al.* **Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2012.
- ÁLVARO, N. A.; MORAIS, D. C.; SILVA FILHO, J. L. Modelo de partilha equitativa de recursos hídricos transfronteiriços na Bacia do Limpopo. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 39., 2019, Santos, SP. **Anais [...]**. Santos, SP: ENEGEP, 2019.
- AMEI, A. Limpopo river basin monograph: Draft final monograph. **Limpopo watercourse commission**, v. 2, p. 1-269, 2013.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ARJOON, D.; TILMANT, A.; HERRMANN, M. Sharing water and benefits in transboundary river basins. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 20, n. 6, p. 2135-2150, 2016.
- AVARIDEH, F.; ATTARI, J.; MORIDI, A. Modelling equitable and reasonable water sharing in transboundary rivers: the case of Sirwan-Diyala river. **Water resources management**, v. 31, n. 4, p. 1191-1207, 2017.
- BEAUMONT, P. The 1997 UN convention on the law of non-navigational uses of international watercourses: Its strengths and weaknesses from a water management perspective and the need for new workable guidelines. **International Journal of Water Resources Development**, v. 16, n. 4, p. 475-495, 2000.
- BERNARDI, E. C. *et al.* Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Santa Maria**, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2013.
- BISWAS, A. K. Management of transboundary waters: an overview. *In: BISWAS, A. K. Management of transboundary rivers and lakes*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. p. 1-20.
- BLAIR, D. A. **Issues in Comprehensive Pediatric Nursing**. *Book Review*, v. 18, n. 4, p. 357-359, 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Água**. Brasília: MMA, 2019. Disponível em: www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo. Acesso em: 15 mar. 2019.
- BRELS, S.; COATES, D.; LOURES, F. Transboundary water resources Management: The Role of International Watercourse Agreements in Implementation of the CBD. **The Practice of Shared Responsibility in International Law**, p. 905-935, 2008.

BRITO, R. et al. Integrated water resource management for improved rural livelihoods: Managing risk, mitigating drought and improving water productivity in the water scarce Limpopo Basin. WaterNet Working Paper 11, p. 2-3, 36-37, 2009.

BROCH, S. **Gestão transfronteiriça de águas**: o caso da bacia do Apa. Universidade de Brasília, 2008.

CHECKLAND, P. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. **Soft systems methodology**. Rational analysis for a problematic world revisited. 2. ed. Chichester: John Wiley, 2004.

DESANCTIS, G.; GALLUPE, R. B. A foundation for the study of group decision support systems. **Management science**, v. 33, n. 5, p. 589-609, 1987.

MOÇAMBIQUE. Direção Nacional de Águas. **Gestão da água**. Maputo: DNA, 2019. Disponível em: www.dnaguas.gov.mz. Acesso em: 10 fev. 2019.

MOÇAMBIQUE. Direção Nacional de Águas. **Estratégia nacional de gestão de recursos hídricos**. Maputo: DNA, 2019 Disponível em: www.dnaguas.gov.mz/lib/legislacao/Estrategia_Naciona_Gestao_Recursos_Hidricos%20-%20Brochura.pdf. Acesso em: 20 jan. 2019.

EARLE, A.; JAGERSKOG, A.; OJENDAL, J. **Transboundary water management: principles and practice**. 1. ed., 2010.

ELEFThERIADOU, E.; MYLOPOULOS, Y. Game theoretical approach to conflict resolution in transboundary water resources management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 134, n. 5, p. 466-473, 2008.

ESCOBAR, M. T., MORENO-JIMÉNEZ, J. M. Aggregation of individual preference structures in AHP-group decision making. **Group Decision and Negotiation**, v. 16, n. 4, p. 287-301, 2007.

ESCOBAR, M. T.; AGUARÓN, J.; & MORENO-JIMÉNEZ, J. M. A note on AHP group consistency for the row geometric mean prioritization procedure. **European Journal of Operational Research**. Elsevier. Spain, 2004. v. 153, p. 318-322.

FORMAN, E.; PENIWATI, K. Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process. **European journal of operational research**. p. 165-169, 1998.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

JORDÂNIA, R. N. Gestão dos recursos hídricos transfronteiriços. In: Relatório de Desenvolvimento Humano, 2006. Disponível em: www.hdr.undp.org/en/media/07-Chapter6_PT1.pdf. Acesso em: 10 jan. 2019.

JR.HAIR, J. F.; *et al.* **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre, Artmed, 2005.

MOÇAMBIQUE. Kit de Sensibilização sobre o Rio Limpopo. **Bacia do rio Limpopo**. Maputo: KSR LIMPOPO, 2019. Disponível em: www.limpopo.riverawarenesskit.org/LIMPOPORAK_COM/PT/GOVERNO/GESTAO_TRANSFRONTEIRICA_DOS_REC.HTM. Acesso em: 5 fev. 2019.

MOÇAMBIQUE. Kit de Sensibilização sobre o Rio Limpopo. **Gestão de infraestruturas de água na bacia do Limpopo**. Maputo: KSR LIMPOPO, 2019. Disponível em: www.limpopo.riverawarenesskit.org/LIMPOPORAK_COM/PT/GESTAO/INFRA_ESTRUTURA_DE_AGUA/DAMS_AND_INFRASTRUCTURE.HTM. Acesso em: 5 abr. 2019.

MOÇAMBIQUE. Política Regional de Águas. **Comissão do rio Limpopo**. Maputo: PRA, 2005. Disponível em: www.limpopo.riverawarenesskit.org/LIMPOPORAK_COM/EN/DOCS/SADC.HTM. Acesso em: 10 mai. 2019.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**: modelagem em Excel. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MIMI, Z. A.; SAWALHI, B. I. A decision tool for allocating the waters of the Jordan basin between all riparian parties. **Water Resources Management**. Kluwer Academic Publishers, v.17, n.6, p. 447–461, 2003.

MIRUMACHI, N. Transboundary Water Politics in the Developing World. Earthscan Studies *In: Water Resource Management*. Routledge Taylor & Francis Group. p. 1-203, 2015.

MILHANO, Ana. Paula. **Gestão dos recursos hídricos em Moçambique**: Gaza- rio Limpopo. Dissertação (Mestrado em Estudo Africanos) - Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, 2008.

MORAIS, D. C.; TEIXEIRA, A.; ALMEIDA, D. Group decision making on water resources based on analysis of individual rankings. **Omega**, v. 40, n. 1, p. 42-52, 2012.

NORMAN, E. Governing transboundary waters: Canada, the United States, and indigenous communities. Earthscan Studies *In: Water Resource Management*, p. 1-237, 2014.

ORASECOM. ORANGE-SENQU RIVER COMMISSION. WRP Consulting Engineers, Jeffares and Green, Sechaba Consulting, WCE Pty Ltd Institutional Structures in the four Orange Basin States. **Water Surveys**. Botswana, p. 46, 2007.

PACHECO, C. S. et al. Recursos hídricos transfronteiriços e a gestão partilhada na bacia do Nilo africano. **Researchgate**. 2014.

PAISLEY, R. **Adversaries into Partnerships**: International Water Law and the Equitable Sharing of Downstream Benefits. *Melb. J. Int'l L.*, v. 3, p. 280, 2002.

PAISLEY, R. K.; HENSHAW, T. W. Transboundary governance of the Nile River Basin: Past, present and future. **Environmental Development**, v. 7, p. 59-71, 2013.

PALOMARES, I. *et al.* **Consenso em um contexto nebuloso**: Taxonomia, quadro de análise AFRYCA e estudo de caso experimental. *Fusão da informação*, v. 20, p. 252-271, 2014.

MOÇAMBIQUE. Kit de Sensibilização sobre o Rio Limpopo. **Protocolo Revisto sobre os Cursos de Águas Compartilhados (2000)**. Maputo: KSR LIMPOPO, 2019. Disponível em:

www.limpopo.riverawarenesskit.org/LIMPOPORAK_COM/_SYSTEM/DMSSTORAGE/3411EN/SADCPROTOCOL_REVISIED.PDF. Acesso em: 16 abr. 2019.

QADDUMI, H. Practical approaches to transboundary water benefit sharing Practical approaches to transboundary water benefit sharing. Overseas Development Institute. **Working Paper**, 292. p. 1-13, 2008.

RAHAMAN, M. M. Principles of international water law: creating effective transboundary water resources management. **International Journal of Sustainable Society**, v.1, n. 3, p. 207, 2009.

RAMANATHAN, R.; GANESH, L. S. Group preference aggregation methods employed in AHP: an evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages. **European Journal of Operational Research**. Elsevier Science. v. 79, n.2 p. 249-265, 1994.

SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process**. RWS publications, 2000.

SADOFF, C. W.; GREY, D. Beyond the river: the benefits of cooperation on international rivers. **Water Policy**. Elsevier Science. v. 4. p. 389-403, 2002.

SADOFF, C.W.; GREY, D. Cooperation on International Rivers: A Continuum for Securing and Sharing Benefits. **Water International**. Routledge, Taylor & Francis Group. v. 30, n. 4. p. 420-427, 2005.

SALMAN, S. M. A. The Helsinki rules, the UN watercourses convention and the berlin rules: perspectives on international water law. **Water Resources Development**. Routledge, Taylor & Francis Group. v. 23, n. 4, p. 625-640, 2007.

SANDMAN, L. The concept of negotiation in shared decision making. **Health Care Analysis**, v. 17, n. 3, p. 236-243, 2009.

SANTOS, L.F.; CRUZ, R. B. O uso do método AHP na tomada de decisão para seleção de Sistemas de lajes de edifícios comerciais. **Engenharia Estudo e Pesquisa**, v. 13, n. 1, p. 39-52, 2013

SEBENIUS, J. K. Assess, don't assume, part II : negotiating implications of cross-border differences in decision making, Governance, and Political Economy. Order a **Journal On The Theory Of Ordered Sets And Its Applications**, v. 3, p. 1-13, 2009.

SILVA, V. B. S.; MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. A multicriteria group decision model to support watershed committees in Brazil. **Water Resources Management**, v. 24, n. 14, p. 4075-4091, 2010.

SMITH, C. M.; SHAW, D. The characteristics of problem structuring methods: A literature review. **European Journal of Operational Research**, Manchester, v. 274, n. 2, p. 403-416, 2009.

SOUTHERN AFRICAN DEVELOPMENT COMMUNITY (SADC). SADC's Regional Project on Economic Accounting of Water Use: Project Report, SADC, Gabarone, 2012. Disponível em: www.sadc.int/themes/natural-resources/water/. Acesso em: 2 mai. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 4. ed. Porto Alegre, editora daufrgs/abrh, 2009.

TURTON, A. A South African Perspective on a Possible Benefit-Sharing Approach for Transboundary Waters in the SADC Region. **Water Alternatives**, v. 1, n. 2, p. 180–200, 2008.

UITTO, J. I.; DUDA, A. M. **Management of transboundary water resources: lessons from international cooperation for conflict prevention**. **Geographical Journal**. p. 365-378, 2002.

VAZ, A. C. *et al.* **Avaliação da Situação Hidrológica e Hidráulica das Cheias em Moçambique 1977-2013**. *In*: Relatório Final da Etapa I, Abril de 2013.

WIRKUS, L. *et al.* **Transboundary Water Management in Africa: Challenges for Development Cooperation**. Alemanha: **German Development Institute**, 2006.

WOLF, A. T. Criteria for equitable allocations the heart of international water conflict. **Natural Resources Forum**. Elsevier science, p. 1-28, 1999.