

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**RENEGOCIAÇÃO DA OUTORGA PELO USO DA ÁGUA NA BACIA
DO RIO GRAMAME - PB UTILIZANDO UM ALGORITMO
EVOLUCIONÁRIO MULTIOBJETIVO**

SIMONE NÓBREGA RIBEIRO

POMBAL-PB

2014

SIMONE NÓBREGA RIBEIRO

**RENEGOCIAÇÃO DA OUTORGA PELO USO DA ÁGUA NA BACIA
DO RIO GRAMAME - PB UTILIZANDO UM ALGORITMO
EVOLUCIONÁRIO MULTIOBJETIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

ORIENTADORA: Prof^a. Dra. Érica Cristine Medeiros Nobre Machado
CO-ORIENTADORA: Prof^a. Dra. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro

POMBAL-PB

2014

SIMONE NÓBREGA RIBEIRO

**RENEGOCIAÇÃO DA OUTORGA PELO USO DA ÁGUA NA BACIA
DO RIO GRAMAME - PB UTILIZANDO UM ALGORITMO
EVOLUCIONÁRIO MULTIOBJETIVO**

Monografia aprovada em 31 de março de 2014.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dra. Érica Cristine M. N. Machado (CCTA/UFCG)
Orientadora

Prof^a. Dra. Cibelle Guimarães Silva Severo (CCTA/UFCG)
Examinadora Interna

Prof^a. Dra. Aline Costa Ferreira (UFCG)
Examinadora Externa

POMBAL-PB

2014

Dedico este trabalho à minha família, em especial ao meu avô João (*in memoriam*), a minha tia Maria de Fátima e a minha avó Francisca por possibilitarem a minha formação, e ao meu amado noivo Michel pelo amor e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Á Deus pelo dom da vida, por ser a minha fonte de esperança, consolo, e, por guiar meus passos nessa longa jornada. E por me dar força e coragem para enfrentar todos os obstáculos encontrados pelo caminho.

Ao meu avô João Ribeiro (*in memorian*), a minha tia Maria de Fátima Costa e a minha avó Francisca pelo zelo, amor, confiança, incentivo e paciência, e por possibilitarem a minha formação. Aos meus pais Maria de Fatima Nóbrega e José Tavares e aos meus irmãos Fabinho, Cristiano e Silvana pelo amor e confiança, bem como aos meus sobrinhos Kauan e Érica Laís pelo carinho.

Ao meu noivo Michel pela ajuda, incentivo, amor e dedicação, e à sua família, em especial minha sogra Luzanira pela confiança e incentivo, bem como sogro e aos meus cunhados Vanubia, Gilliano e a minha afilhada Lívia Maria.

À minha orientadora a professora Dra. Érica Cristine Medeiros Nobre Machado pela paciência, amizade, disponibilidade, confiança e orientação na realização deste trabalho.

À minha co-orientadora, a professora Dra. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro pelo apoio, gentileza e orientação neste trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar - CCTA, e a todos os professores e funcionários que criaram as condições necessárias para a minha formação profissional.

Aos meus amigos pela ajuda e amizade nos momentos difíceis, em especial ao meu amigo Wosley Nogueira e Fagner Costa pela contribuição e auxílio nesta pesquisa.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste estudo.

Obrigada!

RESUMO

É sabido o papel vital exercido pela água para o desenvolvimento de uma região, tanto no aspecto socioeconômico quanto ambiental, no entanto, a distribuição irregular e o estresse hídrico, são fatores limitantes em algumas regiões, tanto em termos quantitativo, quanto qualitativos. Aliado a esses fatores temos um crescimento populacional que vem contribuindo para o aumento da disputa pelo uso da água e seu potencial foco de conflitos. Esses conflitos são intensificados em bacias do semiárido, onde geralmente a oferta hídrica não é capaz de suprir todas as demandas requeridas, e são potencialmente mais acentuados devido às restrições que se impõem às vazões outorgáveis. Diante disso, este trabalho teve como objetivo principal, desenvolver uma metodologia para subsidiar a renegociação da alocação de água, em relação ao volume já outorgado, na bacia do Rio Gramame, no estado da Paraíba, considerando as normas existentes e a disponibilidade superficial. A metodologia utiliza um algoritmo evolucionário multiobjetivo como suporte a gestão pelo uso da água na referida bacia hidrográfica, avaliando cenários de otimização do uso da água em situações de renegociação da outorga. Foram adotadas prioridades de uso para abastecimento e utilizadas variações no cenário em relação à vazão requerida por cada usuário. Os resultados evidenciaram que mesmo priorizando o abastecimento não é possível renegociar outorga em alguns trechos, devido ao fator limitante dos atuais critérios de outorga.

Palavras-chave: Alocação negociada, Gestão dos recursos hídricos, Otimização multiobjetivo.

ABSTRACT

Water is essential in the development of a region, both in the social, economic and environmental aspects. However, the uneven distribution and moisture stress are limiting factors, in some regions, both in quantitative and qualitative terms. In addition, we have a growing population that has contributed to increased competition for water use and is a potential source of conflict. These conflicts are intensified in the semi-arid basins where water supply is usually not able to meet all the requirements, and are potentially more pronounced due to the restrictions that are imposed on grant flows. This study aimed to develop a methodology to support the renegotiation of water allocation in relation to the volume already granted in Gramame river basin in the state of Paraíba, considering the existing surface and availability standards. The methodology uses a multi-objective evolutionary algorithm to support the management of water use in the basin, evaluating scenarios for optimizing the use of water in case of renegotiation of the grant flow. Use priorities to changes in supply have been adopted and used in the scenario with respect to the flow required by each user. The results showed that by prioritizing the offer cannot renegotiate concession in some places, due to the limitations of the award criteria ongoing factor.

Keywords: Negotiated water allocation, multi-objective optimization, water resources management.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Estrutura do Sistema de Suporte a Decisão	27
FIGURA 02 - Fluxograma de funcionamento de um Algoritmo Genético	31
FIGURA 03 - classificação dos indivíduos e preenchimento da externa.....	33
FIGURA 04 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame.....	34
FIGURA 05 - Pontos de referências adotados na bacia do rio Gramame	38
FIGURA 06 - Variação do nível do reservatório da solução otimizada do Cenário 1	50
FIGURA 07 - Concentração de DBO acumulada no PR3 – Cenário 1.....	52
FIGURA 08 - Concentração de DBO acumulada no PR3 – Cenário 2.....	53
FIGURA 09 - Variação do nível do reservatório da solução otimizada do Cenário 2.....	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Distribuição porcentual de água no planeta.....	6
TABELA 02 - Distribuição mundial da água por setores.....	7
TABELA 03 - Composição do SINGREH	9
TABELA 04 - Critérios adotados para outorga baseados em vazões de referências nos estados brasileiros	21
TABELA 05 - Vazões características dos pontos de referência adotados.....	39
TABELA 06 - Descrição dos usuários adotados em cada ponto de referência.....	39
TABELA 07- Coeficientes de antecedência dos usuários	45
TABELA 08 - Vazão requerida para cada usuário	47
TABELA 09 - Caracterização das soluções dos cenários de alocação da vazão para fins de renegociação da outorga.....	48
TABELA 10 - Outorga atual repactuada por ponto de referência na solução de melhor aptidão dos cenários.....	49
TABELA 11 - Outorga atual repactuada por usuário em cada ponto de referência do Cenário 1	51
TABELA 12 - Outorga atual repactuada por usuário em cada ponto de referência do Cenário 2	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. <i>Distribuição da água no planeta e no Brasil</i>	5
3.2. <i>Gestão dos Recursos Hídricos</i>	8
3.3. <i>Conflitos pelo uso da água</i>	12
3.4. <i>Outorga de direito de uso de recursos hídricos</i>	15
3.4.1. <i>Tipos de outorga</i>	17
3.4.2. <i>Critério de concessão de outorga</i>	17
3.4.2.1. <i>Crítérios dinâmicos</i>	18
3.4.2.2. <i>Crítérios estáticos</i>	19
3.5.1. <i>Mecanismos de Alocação Administrativa</i>	24
3.5.2. <i>Mecanismo de Preço com Base no Custo Marginal</i>	24
3.5.3. <i>Mecanismo de Mercado (Mercado de água)</i>	25
3.5.4. <i>Negociação entre os Usuários</i>	25
3.6. <i>Sistema de suporte a decisão</i>	26
3.6.1. <i>Modelos de Otimização</i>	28
3.6.1.1. <i>Algoritmos Evolucionários</i>	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1. <i>Área de estudo</i>	34
4.2. <i>Oferta e demanda pelo uso da água</i>	37
4.3. <i>Modelos empregados</i>	40
4.3.1. <i>Algoritmo evolucionário multiobjetivo</i>	40

<i>4.3.2. Modelo de balanço hídrico integrado</i>	42
<i>4.3.3. Funções objetivo e restrições da otimização</i>	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6. CONCLUSÃO	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

A água, um recurso essencial à vida e componente fundamental ao meio ambiente, configura-se em um elemento necessário para quase todas as atividades humanas devido a sua grande variedade de usos: abastecimento humano, dessedentação animal, processos industriais, geração de energia, navegação, pesca, irrigação (MAIA, 2003; LEMOS, 2013). É, portanto, indispensável para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental de uma região, uma vez que sua disponibilidade determina vários aspectos de seu desenvolvimento e da qualidade de vida de seus habitantes (INEA, 2010).

O acelerado crescimento demográfico e a expansão das atividades industriais e agrícolas têm aumentado consideravelmente a demanda pelo recurso água, além do fato de contribuírem para a deterioração da qualidade das águas, aumentando a sua escassez, tornando mais evidentes os conflitos que envolvem seu uso (ANA, 2011; INEA, 2010). Além disso, a água é um fator limitado em algumas regiões, principalmente em termos quantitativos, especialmente as semiáridas, onde há índices bastante elevados de estresse hídrico (ASSIS et al, 2013; TUNDISI, 2011).

A escassez dos recursos hídricos, principalmente em virtude da sua má distribuição e utilização, tem se mostrado como uma das principais problemáticas ambientais mundiais, o que não difere no Brasil, sobretudo no Nordeste brasileiro, seja em termos qualitativos e/ou quantitativos. Os conflitos são mais intensos em bacias do semiárido devido à baixa pluviometria, chuvas irregulares e altas taxas de evaporação, aliado ao crescimento populacional e desenvolvimento de abastecimentos adicionais.

Conflitos estes que também, podem estar associado com os critérios de concessão de outorga, estabelecidas legalmente pelos poderes estaduais ou pela União, pois sabe-se que a água encontrada em lagos, rios e as águas subterrâneas são de domínio da União, do Estado e do Distrito Federal, por ser considerada como um bem público, conforme estabelecido na Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, sendo de competência destes poderes o dever de administrá-las (SILVA & MONTEIRO, 2004). Contudo, a outorga é um instrumento difícil de ser implementado e administrado, principalmente devido ao seu elevado grau de complexidade, típico da própria essência dos recursos hídricos, em virtude da sua

multiplicidade de usos e suas propriedades num cenário de ocorrências probabilísticas e com demandas cada vez mais crescentes, e com relação à inserção do gerenciamento, englobando interesses conflitantes e os seus vários personagens, que vão desde os órgãos públicos gestores, instituições não governamentais até os usuários finais (BALTAR et al. 2003).

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA) já adota a alocação negociada de água como uma prática de resolução de conflitos hídricos. Tendo como pré-requisitos o cadastramento de usuários, o desenvolvimento de estudos de disponibilidade e demanda e a definição de uma proposta de Marco Regulatório para bacias. De posse desses estudos e propostas os órgãos gestores se reúnem com os usuários de recursos hídricos, discutindo as vazões em cada trecho da bacia e os critérios que nortearão as outorgas a serem concedidas para cada empreendimento. Com base nesses dados é celebrado o Pacto de Alocação e a partir das definições do pacto são emitidas outorgas para os usuários (MACHADO, 2011).

Para Silva e Monteiro (2004) os sistemas computacionais de apoio à gestão dos recursos hídricos são de grande importância, pois possibilitam avanços significativos no entendimento do comportamento hidrológico de bacias e das alterações provocadas por fatores naturais ou antrópicos, além de auxiliar na solução de conflitos atuais ou potenciais. Sistemas computacionais desenvolvidos para suporte à decisão para alocação de água em bacias hidrográficas geralmente buscam agregar múltiplos critérios na alocação de água, múltiplos usuários com objetivos conflitantes, a consideração das incertezas envolvidas e abordagens de alocação temporal, espacial e em tempo real (MACHADO, 2011).

Diante disso, alguns estudos têm sido realizados em busca de definir critérios mais flexíveis para otimizar o uso da água, diminuir as perdas e minimizar os conflitos, para que, em períodos com maiores disponibilidades hídricas não sejam impostas restrições desnecessárias aos usuários.

Este trabalho justifica-se em resposta a necessidade de avaliar por meio de vazões outorgáveis os conflitos vivenciados na Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, no estado da Paraíba, devido às restrições que lhe são impostas, pela concessão de outorga. Tomando como embasamento, os conflitos caracterizados entre a demanda requerida para irrigação e a para abastecimento da região metropolitana da Grande

João Pessoa, localizada além dos limites geográficos da bacia (SEMARH, 2000; SANTOS, 2009; MACHADO, 2011; FELINTO, 2013).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Desenvolver uma metodologia para subsidiar a renegociação da alocação de água, em relação ao volume já outorgado, na bacia do Rio Gramame, no estado da Paraíba, considerando as normas existentes e a disponibilidade superficial.

2.2. Objetivos específicos

- Investigar, através de revisão de literatura, os critérios utilizados para concessão de outorga, valores máximos outorgáveis, bem como fazer analogia desses critérios de concessão estabelecidos nos estados brasileiros, com os adotados na bacia hidrográfica do rio Gramame;
- Utilizar um algoritmo evolucionário multiobjetivo na otimização de cenários de uso da água em situações de renegociação da outorga;
- Inserir adaptações nos operadores de reprodução específicos para incorporar as restrições do problema;
- Aplicar o algoritmo evolucionário multiobjetivo na otimização da vazão em cenários de outorga de direito pelo uso da água na bacia do rio Gramame e avaliar os resultados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Distribuição da água no planeta e no Brasil

O planeta Terra possui cerca de 70% de sua superfície coberta por água, sendo encontrada sob distintas formas, especialmente no estado líquido, “constituindo um recurso natural renovável por meio do ciclo hidrológico” (BRAGA et al., 2005).

O volume total de água estimado que ocupa a crosta terrestre está distribuído de forma não igualitária, dos quais 97% do volume total correspondem às águas salgadas, dispostas nos oceanos e mares, enquanto que a água utilizável corresponde a apenas 1% do volume de água doce disponível, encontradas nos rios, lagos, nas águas da chuva e nas águas subterrâneas (VICTORINO, 2007).

De acordo com Braga et. al. (2005) a massa de água total existente no planeta é de aproximadamente 265.400 trilhões de toneladas, no qual sua distribuição é mostrada na TAB.01. Deste total apenas 0,5% é água doce, que pode ser explorada sob o aspecto econômico e tecnológico, sendo ainda descontada desta quantidade, uma parte que se encontra poluída e, em locais de difícil acesso ou aquela já estava muito poluída. Embora o planeta disponha de um volume de água considerado grande, nem todo este montante pode ser diretamente utilizado para abastecimento humano e outros usos, como a água salgada dos mares e oceanos, uma vez que as tecnologias para dessalinização são bastante caras. Outro exemplo são as águas dispostas nas geleiras, cujos custos com transporte são bastantes altos, por se encontrarem em regiões muito afastadas dos centros consumidores, a extração de águas muito profundas também sofrem limitações econômicas (BRAGA et al., 2005).

TABELA 01 - Distribuição percentual de água no planeta

Localização	Área (10⁶ Km²)	Volume (10⁶ Km³)	Porcentagem da água total (%)	Porcentagem da água doce (%)
Oceanos	361,3	1338	96,5	
Água subterrânea				
	134,8	23,4	1,7	
Doce	10,56	0,76	0,055	
Umidade do solo	0,016	0,0012	0,05	
Calotas polares	16,2	24,1	1,74	68,9
Geleiras	0,22	0,041	0,003	0,12
Lagos	2,06	0,176	0,013	0,26
Doce	1,24	0,091	0,007	
Salgado	0,82	0,085	0,006	
Pântanos	2,7	0,011	0,0008	0,03
Rios	14,88	0,002	0,0002	0,006
Biomassa	0,001	0,0001	0,003	
Vapor na atmosfera	0,013	0,001	0,04	
Total de água doce	35	2,53	100	
Total	510,0	1.386	100	

Fonte: Braga et al. (2005)

Apesar o planeta seja predominantemente composto por água, o pequeno percentual de água doce aproveitável para o consumo, nos revela um quadro de escassez de água no mundo, motivados pela distribuição irregular, estresse hídrico, especialmente em regiões situadas em zonas áridas, além da poluição.

Para a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura - FAO (2008), até 2025, 1,8 bilhão de pessoas estarão vivendo em condições de absoluta escassez de água e dois terços da população mundial poderão sofrer com o estresse hídrico, ainda ressalva que a agricultura é o setor que demanda o maior

volume de água, principalmente nas localidades cuja economia depende do setor agrícola, conforme ilustrado na TAB.02.

TABELA 02 - Distribuição mundial da água por setores

	Doméstico	Industrial	Agrícola
	(%)	(%)	(%)
América do Norte	13,3	48	38,7
América Latina e Caribe	19	10,3	70,7
África	8,6	7,3	84,1
Ásia	7,3	11,4	81,3
Europa	15,2	52,4	32,4

Fonte: FAO (2008)

O Brasil pode ser considerado como privilegiado por possuir “uma das maiores reservas de água doce do planeta, abrigando uma extensa rede hidrográfica e uma enorme reserva de água subterrânea” (INEA, 2010), além da maior disponibilidade hídrica renovável *per capita* do planeta (LANNA, 2001). Contudo a água se distribui de forma não homogênea em seu território, a exemplo da região amazônica que concentra cerca de 70% do volume da água e abriga apenas 7% da população brasileira, por outro lado o país apresenta um quadro de “superexploração e desperdício do recurso”, especialmente na região Sudeste, onde se concentra 44% da população e aproximadamente 70% das indústrias brasileiras (INEA, 2010).

A região Nordeste também deve ser destacada, pois possui uma disponibilidade hídrica de apenas 3% para atender cerca de 28% do total da população brasileira (CAMARA, 2003).

Além dos problemas com escassez quantitativa, boa parte dos estados brasileiros vem enfrentando problemas com a qualidade de suas águas. Von Sperling (2005) destaca que a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem, ou seja, é função das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica. Embora seja considerada como vital, os corpos hídricos estão sendo degradados, e sua qualidade modificada, devido às grandes quantidades de poluentes lançados *in natura* pelas indústrias, esgotos domésticos e agrotóxicos, afetando negativamente a flora e fauna aquática, bem

como a saúde do homem, tornando a água imprópria para o consumo humano (LIRA, 2011).

De forma que a região Nordeste e os grandes centros urbanos registram escassez de água, absoluta e relativa agravada também pela ausência ou ineficiência de políticas públicas que permitam a adoção de um sistema de coleta, tratamento e distribuição de água (MACHADO & TORRES, 2012). Camara (2003) destaca que a gestão inadequada dos recursos hídricos aliado a estes problemas anteriormente citados é outro agravante da oferta temporal e espacial deste recurso.

3.2. Gestão dos Recursos Hídricos

Sabendo da função vital da água para o planeta, é essencial a avaliação da qualidade e acompanhamento sistemático realizado por meio de programas de monitoramento estruturados e capazes de representar a situação atual do corpo de água produzindo as informações necessárias para a gestão dos recursos hídricos (BINOTTO, 2012).

A gestão de recursos hídricos teve grande avanço com a aprovação da Lei nº 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, conduzindo várias mudanças desde a administração até ao gerenciamento dos recursos hídricos, com a criação do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos, unindo os órgãos municipais, estaduais e federais. Os princípios básicos e gerais da gestão das águas são mostrados no Capítulo I da referida lei: a gestão de bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos; a observância dos usos múltiplos; o reconhecimento de que a água é um recurso dotado de valor econômico; a gestão descentralizada e participativa e o reconhecimento da água como bem finito e vulnerável (BRASIL, 1997; ALMEIDA, 2013).

Para Campos (2001) a gestão das águas seria o “conjunto de procedimentos organizados no sentido de solucionar os problemas referentes ao uso e ao controle dos recursos hídricos”, ainda ressalta que a água deve ser gerenciada de forma a garantir, que seja: descentralizada (as decisões devem ser tomadas a nível territorial e de planejamento das próprias bacias hidrográficas); integrada (considerando todas as fases do ciclo hidrológico e observando seus aspectos quantitativos e qualitativos) e participativa (todo o processo de gerenciamento de bacia hidrográfica,

conta com a participação de representantes dos usuários, das instituições e da sociedade civil organizada, sendo a bacia hidrográfica a unidade de planejamento e atuação).

Barbosa (2008) menciona que foi a partir da Lei nº 9.984/00 que foi instituída a Agência Nacional das Águas (ANA). A partir daí a gestão dos recursos hídricos adquiriu um caráter menos centralizador e mais participativo, pelo deslocamento do poder para os níveis locais e regionais do governo; a participação dos usuários, da sociedade civil organizada, de ONGs e outros, através dos comitês de bacias hidrográficas.

Os vários componentes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos tiveram seus elementos estruturadores divididos pela lei 9.433/97, de forma a descentralizar funções, competências, objetivos e outros com intuito de gerir os recursos hídricos, apresentado na TAB.03 (CUNHA, 2013). Além de coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar, no âmbito administrativo, os conflitos relacionados com os recursos hídricos e planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos, dentre outros (CAROLO, 2007).

TABELA 03 - Composição do SINGREH

Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH)	Concelho Nacional de Recursos Hídricos
	Concelho de Recursos Hídricos dos estados e do Distrito Federal
	Comitês de Bacia Hidrográfica
	Órgãos governamentais de competência na gestão dos recursos hídricos.
	Agência Nacional de Águas (ANA)

Fonte: Adaptado de Miranda (2010).

A gestão de recursos hídricos engloba outras esferas, como a política, o planejamento e o gerenciamento da oferta e da demanda, e pelo fato da participação e descentralização estarem estacionados “em processos permanentes de negociação que se constituem em um dos seus princípios balizadores” (Nogueira, 2010). É uma das alternativas para solucionar as questões de escassez de água, através de procedimentos integrados de planejamentos, políticas públicas, “criação

de condições de entendimentos entre os envolvidos e legislação adequada que visem otimizar os recursos em benefício da sociedade” (CAROLO, 2007).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), conforme a Lei nº 9.433 de 1997 estabelece os objetivos e instrumentos regulatórios e econômicos que norteiam a gestão dos recursos hídricos brasileiros, tendo como premissa a sustentabilidade dos recursos hídricos (BINOTTO, 2012).

Segundo Ribeiro e Lanna (2001), para viabilizar a gestão dos recursos hídricos de um país, há dois grandes grupos de dispositivos, o instrumento regulatório e o instrumento econômico. O primeiro tem a finalidade de estabelecer padrões e monitorar a qualidade ambiental, além da regulamentação das atividades e aplicações de sanções e penalidades, por intermédio de legislações e normas que funciona através de intervenções do poder público. Atuam estabelecendo cotas e padrões, a exemplo de licenças ambientais e outorga de direito de uso da água, no enquadramento dos corpos d’ águas em classes, bem como limitadores de cargas poluidoras, no caso de qualidade da água (CAMARA, 2003). Já o segundo instrumento baseia-se em dispositivos de mercado como preço e custo, para combater a escassez dos recursos naturais ou danos ambientais, como a cobrança pelo uso da água, os mercados de uso da água e de poluição (Ibidem).

A Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelecidos pela Lei 9433/97, é composta por cinco instrumentos de gestão, tais instrumentos são reproduzidos em quase todas as legislações estaduais, os mesmos visam o planejamento dos recursos hídricos e a regulação dos seus respectivos usos, são eles: Planos de bacia, planos estaduais e Plano Nacional de Recursos Hídricos; Outorga de direito de uso; Cobrança pelo uso da água; Enquadramentos dos corpos de água em classes; Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (ARAÚJO, 2012), descritos a seguir de forma mais detalhada.

I. Planos de bacia, planos estaduais e Plano Nacional de Recursos Hídricos.

A Lei 9.433/97, no seu art. 7, destaca que os Planos de Recursos Hídricos são planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos e terão o seguinte conteúdo mínimo, entre outros: a) diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos; b)

balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais; c) prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos; d) diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; e) metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis.

II. Enquadramento dos corpos de água em classes

O enquadramento dos corpos de água em classes tende a assegurar às águas qualidade compatível com a sua destinação e reduzir custos de combate à sua poluição. Sendo considerado indispensável para a análise dos pedidos de outorga para lançamento de efluentes (BRASIL, 1997).

III. Outorga de direito de uso

A outorga tem por finalidade disciplinar, assegurar, harmonizar e controlar os usos múltiplos da água, garantindo a todos os usuários o acesso à água a este recurso. Será abordado de forma mais detalhada mais adiante.

IV. A cobrança pelo uso de recursos hídricos

O art. 19 da Lei 9433/1997, estabelece como objetivos da cobrança pelo uso de recursos hídricos, reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; incentivar a racionalização do uso da água; obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

V. O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos

Art. 25. O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.

A Lei 9.433/97 estabelece em seu art. 26, os princípios básicos para o funcionamento do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos:

- I - descentralização da obtenção e produção de dados e informações;
- II - coordenação unificada do sistema;
- III - acesso aos dados e informações garantido a toda a sociedade.

Ramos (2007) menciona que o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos, congrega dados relacionados à disponibilidade hídrica e aos usos da água com dados físicos e socioeconômicos, de forma que possa permitir o conhecimento integrado das inúmeras variáveis que condicionam o uso da água na bacia.

Embora os modelos de gestão de recursos hídricos obedeam a princípios gerais da gestão ambiental, devido às propriedades da água, a gestão de recursos hídricos possui suas próprias peculiaridades, de modo que é feita em sistema próprio, tais como (PEIXINHO, 2005):

- Abordagem integrada em diferentes níveis: qualidade e quantidade de recursos hídricos; águas superficiais e subterrâneas; uso da água e do solo;
- Gestão por bacia hidrográfica;
- Articulação com política ambiental e saúde;
- Reconhecimento da água como valor econômico;
- Ênfase na gestão da demanda;
- Supervisão e controle do sistema de gestão pelo poder público.

No entanto, a complexidade dos sistemas hídricos cresceu devido à diminuição da disponibilidade de água pela deterioração da sua qualidade, refletindo em uma maior dificuldade no gerenciamento desses recursos, essa dificuldade tende a proporcionar situações propensas a conflitos (TUCCI, 2000).

3.3. Conflitos pelo uso da água

Segundo Alemar (2006), conflito é qualquer desencontro de vontades, qualquer divergência de opiniões ou objetivos. Podendo apresentar diversas tipologias, origens e classificações, os conflitos hídricos, por exemplo, podem ser classificados considerando vários aspectos importantes. É possível identificar alguns destes aspectos, como os conflitos originados em relação ao reflexo de mudanças ambientais, Homer-Dixon¹, 1991 apud Vieira, 2008, os classificam como:

¹ HOME-DIXON, T. F. On the Threshold: Environmental Changes as Cause of Acute Conflict. *International Security*, v. 16, n.2, 76-116 p, 1991.

- Conflito de escassez simples: oriundos da competição direta por um recurso natural escasso, em virtude de dois fatores: se este recurso escasso é indispensável à sobrevivência, e se este pode ser fisicamente tomado ou controlado;
- Conflito de identidade: ocorre quando grupos sociais de distintas culturas e etnias estão sob condições de escassez e estresse de um recurso vital, procuram ressaltar a sua própria identidade como uma forma de adicionar ao grupo, hostilizando os demais grupos;
- Conflitos de privação relativa: ocorre quando a água disponível para distribuição é suficiente para satisfazer as necessidades da população, no entanto, sua distribuição não acontece de forma igualitária e justa, de modo que provoca a insatisfação da população em relação ao nível econômico em que vive, levando em consideração os que têm um melhor padrão econômico como um agente da miséria econômica destas populações, e os favorecidos da injusta distribuição de recursos.

Também é possível identificar os conflitos relacionados ao uso da água (LANNA, 1997 apud PEREIRA, 2012; SETTI et al, 2001; CAROLO, 2007)², a saber: conflitos de destinação de uso: quando a água é desviada da destinação já pré-estabelecida pelo órgão gestor para finalidades diferentes; conflitos de disponibilidade qualitativa: a utilização de água de fontes poluídas para o fim a que se destinam, o consumo excessivo dessa água reduz a vazão de estiagem deteriorando a qualidade destas que já estão comprometidas pelo lançamento de poluentes, e tal deterioração, torna a água ainda mais inadequada para consumo; conflitos de disponibilidade quantitativa: situação decorrente da utilização intensiva dos recursos hídricos.

O aumento da demanda é passível a situações de conflitos entre usuários, fazendo com que haja necessidade de serem propostas medidas de controle para evitar esses conflitos (PEREIRA, 2012). Outro fator motivador de conflitos, que deve

² LANNA, A. E. L. (Org.) Técnicas quantitativas para gerenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1997.

ser considerado é a escassez seja essa escassez de primeira ordem, que se origina da competição por um recurso natural escasso o qual é necessário à sobrevivência, causado pela ausência ou inadequação de normas e regulamentos que auxiliem no gerenciamento dessa escassez; ou, pela escassez de segunda ordem, que são causados diretamente pela escassez hídrica, e forma indireta, pela introdução inadequada ou ainda, pela falta de qualidade suficiente do tipo de medidas de gerenciamento tomadas para resolver esse problema de escassez (OHLSSON, 1999 apud VIEIRA, 2008)³.

Contudo, vários são os motivos que proporcionam os conflitos que envolvem os recursos hídricos, tais como: o regime de domínio do uso da água, o aproveitamento e nível de contaminação hídrica, à elevada escassez, e à carência de instituições jurídicas e políticas (ALEMAR, 2006).

Carolo (2007) destaca que de modo geral a ocorrência de conflitos é intensificada quando a demanda é maior que a oferta da água, tal fato pode esta relacionado ao acelerado aumento populacional e crescimento desordenado de centros urbanos, bem como o desenvolvimento industrial e econômico intensivo. Enquanto que para Moreira et. al. (2012), boa parte dos conflitos pelo uso da água estão associados à falta de planejamento e gestão de recursos hídricos, “a qual está intimamente ligada à inexistência de informações que associem as vazões já outorgadas com a disponibilidade hídrica”.

Para minimizar as situações de conflitos pelo uso da água, a Lei nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, tem como principal objetivo garantir a disponibilidade necessária de água, em quantidade e qualidade adequadas, para a atual e as futuras gerações (BRASIL, 1997). No Brasil o gerenciamento de recursos hídricos tende harmonizar e solucionar conflitos resultantes do uso intensivo da água na bacia hidrográfica, tendo como princípios a descentralização do processo decisório e a participação da sociedade (RAVANELLO, 2007).

A gestão de recursos hídricos visa solucionar conflitos relacionados à utilização da água corrigindo, a partir de instrumentos técnicos e legais, o desequilíbrio espacial e temporal entre disponibilidades e demandas hídricas.

³ OHLSSON, L. Environment, Scarcity and Conflict – A study of Malthusian concerns. Phd Thesis. Dept. of Peace and Development Research, University of Goteborg, 1999.

Os quais devem ser estabelecidos um mecanismo e adotadas ferramentas que permitam a transparência do processo, de maneira a não suscitar conflitos entre distintos usuários.

3.4. Outorga de direito de uso de recursos hídricos

A Lei 9.433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabeleceu como um de seus instrumentos a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos, visa “assegurar o controle quantitativo e qualitativo da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água” (art. 11 da Lei 9433/97), disciplinando a sua utilização e compatibilizando demanda e disponibilidade hídrica (ÁVILA & RODRIGUES, 2013). A outorga de direito de uso de recursos hídricos pode ser entendida como sendo o ato administrativo, de autorização, mediante o qual a autoridade outorgante (União, Estados ou Distrito Federal) faculta ao outorgado o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nas condições expressas no respectivo ato (INEA, 2010; LEITE et al., 2013).

Atualmente o instrumento de outorga insere-se como elemento de maior importância para o uso racional das águas, pois assegura o direito de uso da água para todos os requerentes desta e, também, possibilita um gerenciamento e controle da quantidade de água que cada usuário poderá utilizar, respeitando o direito de uso dos outros usuários, e mantendo regime ecológico do curso de água (MAIA, 2003). Sendo considerada no âmbito da gestão de recursos hídricos como um importante instrumento regulatório.

Para Lanna (2003), a outorga tem a função de ratear os recursos hídricos disponíveis entre as demandas existentes, ou potenciais, de forma que os melhores resultados sejam gerados para a sociedade. Sendo o primeiro instrumento a ser aplicado ao longo da implantação de sistemas de gestão, em que apenas usuários sujeitos à outorga, deverá ser objeto de cobrança (BARBOSA, 2008).

A Lei 9.433/97, em seu art. 12 destaca quais recursos hídricos estarão sujeitos à outorga do Poder Público: I) derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; II) extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; III) lançamento em corpo de água, esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua

diluição, transporte ou disposição final; IV) aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; V) outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

De acordo com Dantas (2013) e com base na Política Nacional de Recursos Hídricos, a outorga do direito de uso de água deve ser concedida seguindo a seguinte ordem de prioridade:

- I. Abastecimento de água para consumo humano em residências, hospitais, estabelecimentos de ensino, quartéis, presídios, e outros estabelecimentos coletivos semelhantes;
- II. Abastecimento de água para consumo humano em entidades públicas ou privadas;
- III. Abastecimento de água para fins de dessedentação animal;
- IV. Abastecimento de água para fins de produção rural, compreendendo irrigação, pecuária, piscicultura, e outros;
- V. Abastecimento de água para fins de produção industrial, comercial e de prestação de serviços;
- VI. Outros usos definidos pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CONERH.

Contudo, para o estabelecimento de outorga, existem três modalidades distintas, a saber, (IGAM, 1998 apud RAMOS, 2005)⁴:

Concessão – Quando as obras, serviços ou atividades forem desenvolvidas por pessoa jurídica de direito público ou quando se destinarem à finalidade de utilidade pública.

Autorização - Quando obras, serviços ou atividades forem desenvolvidas por pessoa física ou jurídica de direito privado e quando não se destinarem à finalidade de utilidade pública.

Permissão – Quando obras, serviços ou atividades forem desenvolvidas por pessoa física ou jurídica de direito privado, sem destinação de utilidade pública e quando produzirem efeitos insignificantes nas coleções hídricas.

⁴ IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Formulário integrado de caracterização do empreendimento. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/index.php>>

3.4.1. Tipos de outorga

A alocação dos direitos de uso da água pode adotar diferentes formas, que dependerá do tipo de sociedade, as mais comuns são (RIBEIRO, 2000):

- a. Outorga ripária: geralmente é vinculada a terra e a água tem características de um bem privado, ou seja, pertence ao proprietário das terras por onde os cursos de água passam, não havendo nenhum tipo de intervenção por parte do poder público, a exemplo de usos prioritários e vazões máximas de captação.
- b. Outorga comercializável: a água é entendida como um bem econômico livre para a comercialização, determinado pela lei da procura e da oferta, sendo eficiente apenas para tratar a escassez quantitativa num mercado de ocorrência perfeita, o que não acontece com a água, por isso esse sistema apresenta diversas dificuldades e tem sido alvo de muitas críticas na literatura.
- c. Outorga controlada: a emissão e controle de outorga são de responsabilidade do poder público, com embasamento em aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Este tipo de outorga é o adotado pelo modelo de gestão brasileiro, no qual o usuário obtém o direito de uso da água, o que não implica a alienação parcial das águas, cujos objetivos são garantir a utilização racional e integrada dos recursos hídricos e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

3.4.2. Critério de concessão de outorga

Um dos principais entraves com relação ao processo de outorga de direito de uso de água é quantificar a vazão máxima a ser liberada para os usuários (CURI et al, 2011). A adoção dos critérios entre diferentes órgãos gestores, para a permissão das vazões máximas outorgáveis, tem propiciado um cenário problemático para a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas que possuem vários órgãos gestores envolvidos, além de contribuir com situações de conflito entre usuários.

Leão (2008) destaca que um dos pontos primordiais para a concessão de outorga esta relacionada ao estabelecimento de limites nos totais de outorgas que podem ser concedidas em uma determinada fonte hídrica ou em sistemas de fontes (reservatórios e aquíferos etc.). Dois tipos de critérios para essa definição podem ser encontrados na literatura (CAMPOS & STUDART, 2001): o da vazão de referência, baseada em preceitos legais de cada estado, que considera como valor máximo a ser outorgada uma porcentagem de uma dada vazão (vazão referência) numa determinada bacia, em outras palavras são vazões mínimas, que buscam garantir o atendimento às demandas ao longo do tempo, incluindo os períodos de estiagem (ANDRADE, 2012); e o da vazão excedente visa um melhor aproveitamento dos recursos hídricos da bacia, nos períodos em que a disponibilidade hídrica for favorável.

Ribeiro (2000) define a vazão de referência como sendo o estabelecimento de um valor de vazão que represente o limite para utilização da água do corpo hídrico. A utilização do critério de vazão de referência compõe uma forma de proteção aos rios, haja vista que as “alocações para derivações são geralmente feitas a partir de uma vazão de base de pequeno risco” (HARRIS et al., 2000). Tais critérios para definição da vazão máxima outorgável são classificados em dois grupos, critérios dinâmicos e estáticos (RIBEIRO, 2000).

3.4.2.1. Critérios dinâmicos

Este critério fundamenta-se no fato, de períodos de maior disponibilidade hídrica, possa ser distribuída aos usuários uma quantidade de água além da já disponibilizada pela vazão requerida, para isso, os critérios dinâmicos visam otimizar o uso da água, de modo que, a vazão máxima outorgável varia com a própria dinâmica natural da bacia, sendo utilizada na maioria das vezes a vazão natural do rio (CAMARA, 2003).

O emprego deste critério traz consigo vantagens no setor econômico e que afeta diretamente o social, uma vez que é possível a utilização de uma quantidade maior de água, nos períodos que apresentam boas disponibilidades deste recurso. Como desvantagens pode-se quantificar as de ordem institucional, burocrática e financeira de implementação por parte do poder público, exigindo um monitoramento quantitativo mais frequente durante os períodos de escassez hídrica, quando alguns

usos outorgados não poderão ser supridos, além da variação da vazão com as condições da bacia, que transmite certa insegurança aquele usuário que precisa planejar sua atividade produtiva (CAMARA, 2003; RIBEIRO, 2000).

3.4.2.2. *Crítérios estáticos*

Através deles é possível obter valores fixos de vazão a serem outorgadas, baseado em séries históricas de vazões, cujas vazões a serem outorgadas aumentam no sentido de montante para jusante, devido ao incremento da área de drenagem, permanecendo a mesma disponibilidade hídrica para usuários localizados num mesmo ponto de captação (CAMARA, 2003).

Como a maioria dos estados brasileiros não estabelece, em suas leis ou decretos, o critério de determinação da vazão máxima outorgável, sendo que, quando a mesma é estabelecida, o critério da adoção da vazão de referência é unânime, utilizando como valor máximo outorgável uma porcentagem da vazão de referência, tais como a $Q_{7,10}$, $Q_{reg.}$ e a Q_{90} e Q_{95} (RODRIGUES et al., 2006; CURI et al., 2011).

A $Q_{7,10}$ é a média das vazões de sete dias consecutivos de estiagem com período de retorno de 10 anos, sendo que em vazões mínimas, o período de retorno equivale ao tempo médio, em anos, necessário para que ocorram vazões menores ou iguais a um certo valor, pelo menos uma vez, em um ano qualquer (PEREIRA, 2012). O valor é obtido a partir de extrapolação das vazões mínimas de sete dias consecutivos de cada ano para o período de retorno em questão, e possui como funções de distribuição relativa às vazões mínimas Weibull, Gumbel, Log-normal (BENETTI et al., 2003; SHAO et al., 2008).

A Q_{90} e a Q_{95} consistem em vazões de permanência, e seus valores se referem a uma vazão que foi superada ou igualada, respectivamente, em 95% e 90% do tempo correspondente à série de vazões observadas (SANTOS et al., 2012), ou ainda, são obtidas pela Curva de Permanência, que relaciona a magnitude e a frequência com que as vazões analisadas em determinado trecho de um corpo hídrico são igualadas ou superadas, quando observada a série histórica com dados disponíveis (PEREIRA, 2012).

No processo de outorga todos os fatores devem ser analisados e considerados, sejam de ordem hídrica, biológica, física, socioambiental, econômica

e outra, bem como o regime dos rios de uma bacia hidrográfica de modo que para rios perenes normalmente a outorga é baseada na vazão mínima $Q_{7,10}$ (sete dias de duração e período de retorno de 10 anos) ou nas vazões mínimas associadas a permanência de 90% (Q_{90} ou Q_{95}), em que apenas uma parcela deve ser utilizada e o restante é a vazão ecológica (MOREIRA, 2006). Tais critérios são adotados nos estados da Paraíba e Minas Gerais, por exemplo, no entanto, para rios com regime temporário ou intermitente que em períodos de estiagens não apresentam vazão, este processo é bastante complexo (SILVA & RAMOS, 2001).

As vazões de referências têm como vantagem o controle da probabilidade de falhas de suprimento, a exemplo da vazão Q_{90} , que em 90% do tempo os valores outorgados poderão ser supridos, entretanto, a expansão do sistema de uso da água faz com que a essa vazão seja limitada boa parte do tempo, impedindo a utilização do excedente de água da vazão de referência, provocando descontentamento por parte dos usuários que tem a sensação de desperdícios (RIBEIRO, 2000; CAMARA, 2003). E pelo fato do valor da $Q_{7,10}$ ser calculado com base na análise dos períodos críticos de estiagem, mantido fixo ao longo do ano, tem restringido um maior uso de água em meses fora do período de estiagem (MEDEIROS, 2000).

Cada estado brasileiro tem adotado critérios particulares para o estabelecimento das vazões máximas outorgáveis (PEREIRA, 2012). Os órgãos gestores de cada estado são responsáveis pelo estabelecimento das vazões para outorga que, quase sempre, são baseadas na $Q_{7,10}$; Q_{90} ou Q_{95} , calculados a partir de dados diários de vazão (ANDRADE, 2012). Além disso, devem ser criteriosos, uma vez que precisam manter nos corpos hídricos vazões mínimas após as retiradas, para garantir a vida e manutenção do ambiente aquático, são elas as vazões remanescentes ou ecológicas.

A TAB. 04 mostra os critérios adotados para concessão de outorga em estados brasileiros, bem como, as suas respectivas vazões remanescentes.

TABELA 04 - Critérios adotados para outorga baseados em vazões de referências nos estados brasileiros

Região	Estados	Vazão de Referência	Vazão ecológica
NORDESTE	Alagoas	90% da $Q_{90\%}$	10% de $Q_{90\%}$
	Bahia	80% da $Q_{90\%}$ diário sem barramento; 80% da $Q_{90\%}$ regularizada por barramentos em mananciais perenes; 95% da $Q_{90\%}$ regularizada por barramentos em mananciais intermitentes ou com fins ao abastecimento humano.	20% de $Q_{90\%}$
	Ceará	90% da $Q_{90\%}$ regularizada quando há barramento; 33% da $Q_{90\%}$ regularizada em lagos ou lagoas	20% de $Q_{90\%}$
	Maranhão	80% da Q_{90} (vazão associada à permanência de 90% no tempo).	20% de $Q_{90\%}$
	Paraíba	90% da $Q_{90\%}$ regularizada anual. Em lagos territorial, o limite outorgável é reduzido em 1/3	10% de $Q_{90\%}$
	Pernambuco	50% da $Q_{95\%}$	50% da $Q_{95\%}$
	Piauí	80% da Q_{95} (Rios) e 80% da $Q_{90\text{reg}}$ (Açudes)	20% de $Q_{95\%}$
	Rio Grande do Norte	90% da $Q_{90\%}$	10% de $Q_{90\%}$
	Sergipe	90% da $Q_{95\%}$	10% de $Q_{90\%}$

TABELA 04 - Critérios adotados para outorga baseados em vazões de referências nos estados brasileiros. Continuação.

NORTE	Acre	70% da $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$	30% da vazão de referência
	Pará	50% de $Q_{7,10}$	50% de $Q_{7,10}$
	Rondônia	30% da $Q_{7,10}$	
	Tocantins	75% de Q_{90} por bacia; Para barragens de regularização, 75% da Q_{90}	25% de Q_{90}
SUL	Paraná	50% da $Q_{7,10}$.	50% de $Q_{7,10}$
	Santa Catarina	50% da $Q_{7,10}$	50% da vazão de referência
SUDESTE	Espírito Santo	50% da $Q_{7,10}$ para algumas bacias	50% de $Q_{7,10}$
	Minas Gerais	30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. Para captações em reservatórios, 70% da $Q_{7,10}$	70% de $Q_{7,10}$
	Rio de Janeiro	50% da $Q_{7,10}$	50% de $Q_{7,10}$
	São Paulo	50% da $Q_{7,10}$	20% de $Q_{7,10}$
CENTRO-OESTE	Distrito Federal	80% do Q_{90}	20% da vazão de referência
	Goiás	70% da $Q_{95\%}$	30% da $Q_{95\%}$
	Mato Grosso	70% da vazão Q_{95} , para usos consuntivos.	20% da Q_{95}

Fonte: ANA – Caderno de Recursos Hídricos (2005); Acre (2012); Lima et al.(2005); Mendes (2007); Granziera (2013); CERHGO (2012); Maranhão (2011); Santa Catarina (2009).

3.5. *Alocação negociada*

Segundo Silva et al. (2013), “a alocação de água figura como um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, e diz respeito à forma de distribuição de um recurso escasso entre múltiplos usuários, em função da disponibilidade hídrica”. Na verificação dos princípios e mecanismos de alocação destes recursos, é perceptível os conceitos de eficiência e equidade, e dos quais podem ser adotados critérios para comparação de modelos de alocação de água (DINAR et al., 1997 apud REGA, 2007)⁵:

- Flexibilidade na alocação dos recursos, referente à possibilidade de rearranjo das quantidades alocadas espacialmente e entre usuários;

Segurança aos usuários já preestabelecidos;

- Pagamento do custo de oportunidade real do fornecimento pelo usuário;
- Previsibilidade dos resultados do processo de alocação, levando à minimização das incertezas envolvidas;
- Equidade do processo de alocação, de modo a garantir que a todos os potenciais usuários sejam beneficiados;
- Aceitação política e pública do processo de alocação, aceitação dos valores e objetivos da alocação pelos diversos setores da sociedade;
- Eficácia no alcance de objetivos, capacidade de reverter eventuais situações não desejáveis e atingir metas traçadas pela política de águas;
- Factibilidade e sustentabilidade administrativa, capacidade de implementação e manutenção do mecanismo de alocação.

⁵ DINAR, A.; ROSENGRANT, M.W.; MEIZEN-DICK, R. Water allocation mechanisms – principles and examples. Washinton: World Bank (Policy, ResearchWorkingPaper, 1779), 1997.

A alocação de água dispõe de quatro mecanismos, a saber: mecanismo administrativo, o preço baseado no custo marginal, mercado de água e negociação entre os usuários (também chamado de Conferência de consenso; Macro Alocação Negociada; ou Alocação baseada nos usuários), e atua sob duas temporalidades, em curto prazo que desenvolve a Macro Alocação Negociada, e longo prazo que vigora a outorga de uso (ARAÚJO, 2012; SILVA et al., 2013). Tais mecanismos estão escritos a seguir:

3.5.1. Mecanismos de Alocação Administrativa

É fundamentada na distribuição de cotas para os usuários, estabelecendo um sistema de direitos de uso, baseado nos mecanismo da economia ambiental (instrumentos de comando e controle), ficando a cargo de agentes públicos a distribuição dessas cotas (ARAÚJO, 2012). Este mecanismo tende a garantir para regiões com quantidades insuficientes de água o seu abastecimento, no entanto, a intensão de substituir os mecanismos de mercados, acaba por levar ao desperdício e a má alocação de água, uma vez que, a alocação é realizada por agentes públicos “raramente cria iniciativas ao uso racional da água” (DINAR et al, 1997 *apud* REGA, 2007).

3.5.2. Mecanismo de Preço com Base no Custo Marginal

Fundamenta-se no custo marginal que estabelece o preço a ser cobrado pela água que deve ser igual ao custo marginal de abastecimento, ou seja, igual ao custo incremental da última unidade de água fornecida (incluindo todas as externalidades) (MOREIRA, 2001).

A cobrança pela água bruta pode ser entendida e vista de distintas formas: como um instrumento financeiro (viabilidade financeira); como um instrumento econômico (eficiência econômica); como um instrumento do gerenciamento de recursos hídricos (ARAÚJO, 2012).

O mecanismo de cobrança pela água inibe o seu desperdício, estimulando sua conservação, atenuando o uso abusivo da água, porém, as dificuldades advêm da determinação do custo marginal a ser aplicado em distintos casos que pode variar com o tempo e a demanda, além disso, são cobradas taxas elevadas para a

população de baixa renda em virtude destas residirem em locais bastante afastados (DINAR et al., 1997 apud REGA, 2007; MOREIRA, 2001; ARAÚJO, 2012).

3.5.3. Mecanismo de Mercado (Mercado de água)

Visa à realocação da água de regiões com menos receita financeira para regiões com uma maior receita, possui um “caráter de racionamento, aliado a uma filosofia de economia do meio ambiente” (SOUZA FILHO, 2005).

O mecanismo de mercado de água, assim como qualquer outro dispositivo de mercado, traz consigo benefícios mútuos, em que beneficia tanto o fornecedor, proporcionando à possibilidade de aumentar sua receita, quanto ao consumidor (usuário) adicionar a água um valor maior, estimulando seu uso eficiente, podendo negociar o seu direito de uso, “reduz o seu consumo a volumes essenciais além de pesquisar novas tecnologias que aumentem sua eficiência, buscando formar excedentes que possam ser vendidos” (ARAÚJO, 2012).

3.5.4. Negociação entre os Usuários

Envolve a ação coletiva das instituições com autonomia sob a alocação, sendo baseada nos usuários, de modo que sejam estabelecidos os direitos de uso da água. Tendo como vantagens o alto nível de aceitabilidade pública e política, e a flexibilidade de adaptação às necessidades locais à disponibilidade dos recursos hídricos, uma vez que as informações sobre a disponibilidade e condições da água, os próprios usuários possuem (DINAR et al., 1997 apud REGA, 2007; MOREIRA, 2001). Por este motivo, os usuários estão mais capacitados do que o poder central a tomar decisões referentes à alocação de seus recursos hídricos (ARAÚJO, 2012).

A alocação negociada de água configura um processo que divide um bem (recursos hídricos) entre usuários com diferentes interesses e necessidades conflitantes, que visa à resolução do conflito pelo uso da água de forma que todos os usuários sejam beneficiados (OLIVEIRA & LUNA, 2013). Já em regiões de escassez hídrica o processo de alocação negociada possibilita o aparecimento de vários conflitos, uma vez que este processo é bastante complexo, pois engloba uma série de fatores como os naturais, os socioeconômicos e jurídico-institucionais (SOUZA FILHO, 2005).

Os aspectos da gestão dos recursos hídricos, como a oferta e demandas devem ser considerados no processo de alocação, de forma que esteja ligada a implementação dos instrumentos de gestão e ao planejamento da bacia hidrográfica (ARAUJO, 2013).

3.6. Sistema de suporte a decisão

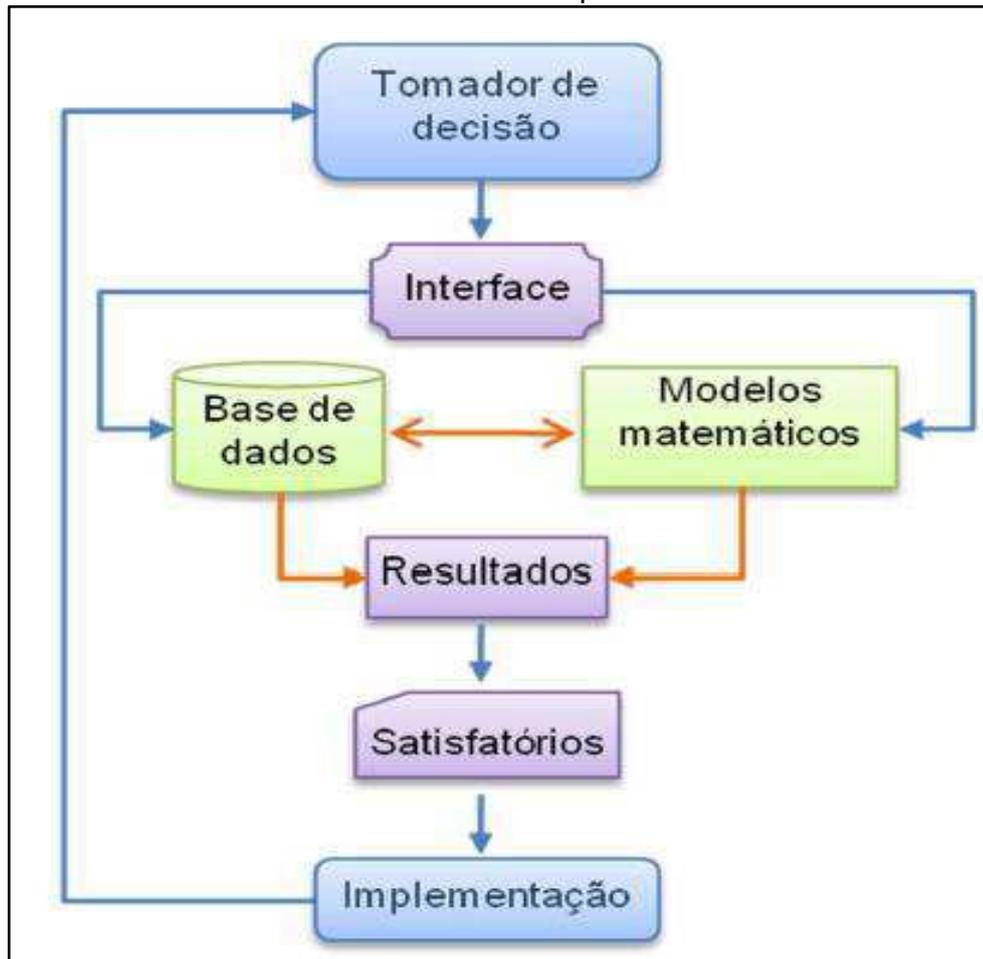
Os Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) consistem em sistemas computacionais cuja finalidade é assessorar usuários (decisor) na tomada de decisões de problemas não estruturados baseada na intensa utilização de base de dados e modelos matemáticos, em uma interface que possibilita a comunicação do homem (decisor) com o sistema computacional (PORTO & AZEVEDO, 1997 apud ANDRADE, 2012; PORTO et al., 2003)⁶.

Essas ferramentas computacionais são de extrema importância para o planejamento estratégico do setor hídrico, haja vista que permite combinar a avaliação do usuário (tomador de decisões) com resultados computacionais, com intuito de produzir informações importantes ao processo decisório. Outra peculiaridade desta ferramenta é o fato dela permitir ou facilitar a participação no processo de avaliação e tomada de decisões de pessoas não especializadas (PORTO & PORTO, 2008).

Geralmente os sistemas de suporte a decisão são formados por três componentes (mostrado na FIG.01), no primeiro, são usados bancos de dados e um sistema gerenciador, para armazenar dados efetivos (ANDRADE, 2012). Os SSDs possuem modelos, “que simulam o comportamento do sistema real, e permitem analisar cenários alternativos (modelos de simulação), ajudando o gestor a encontrar dimensões ou políticas ótimas de operação (modelos de otimização)”, este é o segundo componente; já o terceiro, os SSDs contêm uma interface de comunicação entre o decisor e o computador, facilitando o dialogo durante a inserção de dados, a simulação de cenários e a análise de resultados (ANDRADE, 2012).

⁶ PORTO. R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. Sistemas de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos. In: PORTO. R. L. L (Org.). Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Editora Universidade - UFRGS, 1997.

FIGURA 01- Estrutura do Sistema de Suporte a Decisão



Fonte: Porto et al.(2003)

No tocante a tomada de decisão envolvendo a gestão de recursos hídricos, é fundamental que haja uma ação conjunta de equipes, devido ao elevado grau de complexidade envolvida na gestão de recursos hídricos (planejamento, controle e proteção) que engloba os múltiplos usos das águas e suas propriedades, também deve ser levada em consideração os aspectos políticos, sociais, econômico-financeiros, ambientais e de engenharia, dentre outros (BARBOSA, 2008). Para Azevedo et al. (2003) os SSD podem fornecer uma melhor concepção a respeito do comportamento dos sistemas de recursos hídricos no Brasil, bem como para o aprimoramento e a implantação de novos sistemas de suporte a decisões. Para Porto & Porto (2008), a principal função dos modelos é transformar dados em informações de boa qualidade.

3.6.1. Modelos de Otimização

Os “modelos são formulados com a finalidade de determinar valores para um conjunto de variáveis de decisão que irão maximizar ou minimizar uma função objetivo sujeita a restrições” (ROBERTO, 2002). De modo que a otimização é o processo de procura pela melhor solução possível para um problema, respeitando um conjunto de limitações (MACHADO, 2011).

Como os modelos de otimização são representados por uma formulação matemática, o algoritmo é utilizado para calcular um conjunto de valores para as variáveis de decisão (SANTOS, 2011). Em problemas de otimização com um único objetivo, os algoritmos de solução dentro do espaço de busca tende a encontrar um único valor ótimo global definido pelas restrições do problema (SCHARDONG, 2011). Enquanto que os problemas que geram um conjunto soluções são conhecidos como modelos de otimização multiobjetivos, procurando em seu espaço de busca por soluções factíveis (que satisfazem a todas as restrições do problema) e que sejam não dominadas compondo a fronteira de Pareto. Tal solução permite o melhoramento em um dos objetivos que implica no detrimento de pelo menos um dos outros objetivos (LUCENA, 2013). Quando uma solução não pode ser melhorada em detrimento de solução de conjunto do tido como ótimo, logo esta solução é dita dominada (SCHARDONG, 2011).

Os modelos de otimização multiobjetivos são de grande valia, sobretudo para gestão dos recursos hídricos, devido à multiplicidade de usos da água e aos aspectos e objetivos a serem considerados para um melhor planejamento dos recursos hídricos. Geralmente este modelo é utilizado em problemas com objetivos conflitantes. Em um problema de otimização multiobjetivo, duas metas devem ser atingidas para que o conjunto de solução não dominadas encontrado seja considerado satisfatório: que suas soluções estejam tão próximas quanto possível da fronteira de Pareto e que suas soluções sejam tão diversificadas o possível (MACHADO, 2011).

Técnicas tradicionais de análise multiobjetivo utilizam programação matemática para gerar o conjunto de soluções não dominadas. Para isso, existem vários métodos onde o problema multiobjetivo é transformado em um problema de objetivo único e resolvido sucessivamente até que o conjunto de soluções não

dominadas seja determinado, dentre essas técnicas se destaca o Algoritmo Evolucionário (SCHARDONG, 2011).

3.6.1.1. Algoritmos Evolucionários

Os algoritmos evolucionários (AEs) pertencem ao ramo da Inteligência Artificial classificado como aprendizagem por indução e são caracterizados pela procura de soluções ótimas em problemas com vastos espaços de busca (MACHADO, 2011).

Utilizam modelos computacionais, baseados no processo da evolução natural das espécies, através de seleção, mutação e reprodução, processos estes que dependem da "performance" dos indivíduos desta espécie dentro do "ambiente", esta ferramenta tem como objetivo a resolução de problemas (LINDEN, 2006). Constituem num método de busca extremamente eficiente no seu objetivo de varrer o espaço de busca e encontrar soluções factíveis.

Devido ao sucesso da aplicação em problemas com um único objetivo, pesquisadores aprimoraram esta técnica, criando adaptações para análise de problemas multiobjetivos que trabalham com famílias de soluções (*populações*), pelo fato de possuir a capacidade de gerar várias soluções não dominadas em uma única geração, sendo extremamente flexíveis quanto à formulação do problema, no que diz respeito às funções objetivo e restrições (ASSUNÇÃO, 2012; LINDEN, 2006; SCHARDONG, 2011). Segundo Deb (2001), as restrições possibilitam a divisão do espaço de busca em duas regiões distintas, sendo a primeira de soluções factíveis e a segunda de soluções infactíveis, no entanto, para delimitação da fronteira de Pareto considera-se apenas a região factível.

O funcionamento dos algoritmos evolucionários consiste em manter uma população de estruturas (*indivíduos* ou *cromossomos*), aplicando processos evolutivos, como a variação e a seleção das espécies descritas por Charles Darwin, na qual são aplicados os operadores genéticos (aproximações computacionais de fenômenos vistos na natureza, como a reprodução sexuada, a mutação genética e outros), (LINDEN, 2006; QUINZANI, 2010).

Os *cromossomos* representam *indivíduos*, que recebe uma avaliação da sua qualidade como solução do problema em questão, e baseado nesta avaliação serão aplicados os operadores genéticos. De forma a simular a sobrevivência dos mais

aptos a transmitirem suas informações genéticas para as próximas gerações, dito conjunto de soluções não dominadas, e conseqüentemente, os demais *indivíduos* da população pertencem ao conjunto de *indivíduos* dominados (LINDEN, 2006; QUINZANI, 2010).

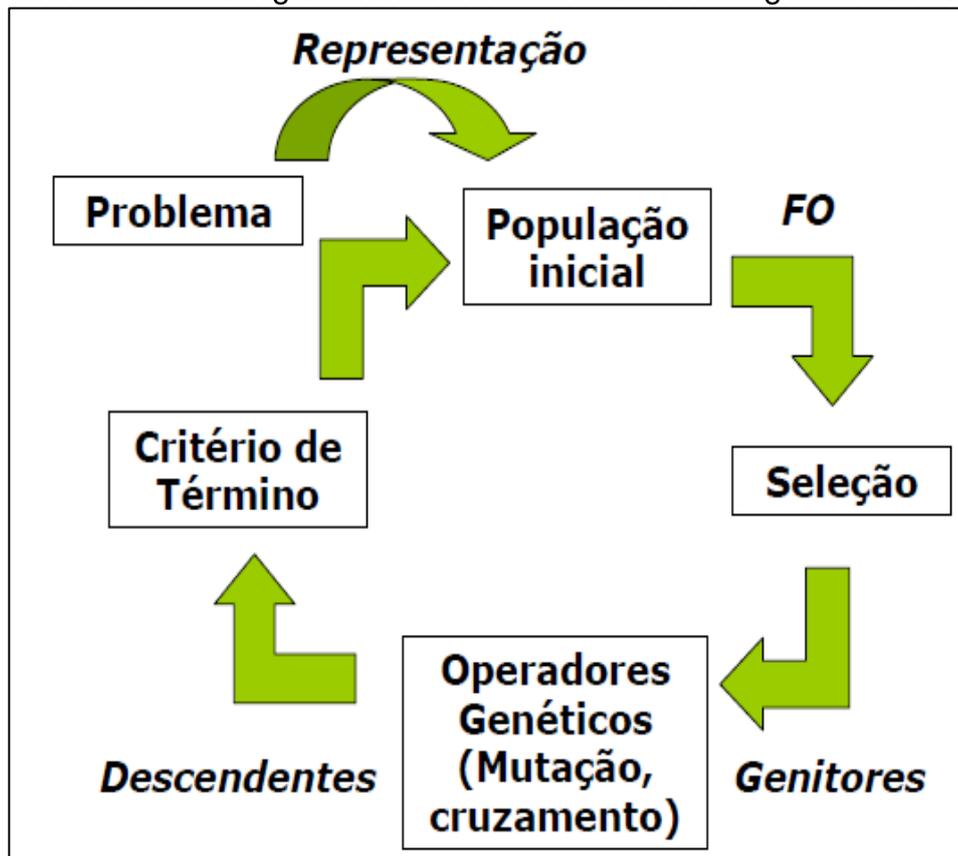
De modo que a seleção representa a competição por recursos, na qual os *indivíduos* mais aptos são selecionados para transmitir sua informação genética, sendo aplicada uma função para medir o valor de aptidão (*fitness*), atribuído a cada *indivíduo*, indicando assim, se a solução representada por este *indivíduo* é viável em relação às outras soluções da *população*. Para a variação representa a capacidade de gerar novos *indivíduos*, utilizando como embasamento a escolha das melhores soluções (*pais*) para originar uma nova *população*, o valor de *fitness*, onde os operadores de recombinação e/ou mutação são aplicados, avaliando as novas soluções (*filhos*) fundamentadas no valor de *fitness*, competindo com as soluções da geração anterior, gerando a nova população. Aos *indivíduos* com melhor aptidão é dada uma probabilidade maior de se reproduzirem mediante cruzamentos com outros *indivíduos* da *população*, produzindo descendentes com características de ambas as partes, mas devido aos operadores genéticos (recombinação e mutação) os cromossomos (*filhos*) não são exatamente iguais aos dos *pais* (QUINZANI, 2010; GUIMARÃES, 2005; EIBEN & SMITH, 2003; LINDEN, 2006).

Contudo, os AEs dependem inteiramente dos fatores probabilísticos (estocásticos), no que diz respeito à fase inicial (formação da *população*) e na fase de seleção dos *pais*, a evolução, de modo a interferir nos resultados, que “raramente sejam perfeitamente reprodutíveis”, além disso, são heurísticas não garantindo em todas as execuções o melhor resultado (LINDEN, 2006).

Com o intuito de aprimorar os EAs diversos algoritmos evolucionários de otimização multiobjetiva foram criados, dentre os mais citados estão o SPEA2 - *Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2* (ZITZLER et al., 2001), que consiste em uma ramificação dos algoritmos evolucionários e representante dos algoritmos genéticos (criado por Holland em 1975, e difundido em 1989 por Goldberg). São técnicas de otimização inspirados no princípio da seleção natural e sobrevivência dos mais aptos, proposto por Charles Darwin, em que os indivíduos mais aptos têm uma maior probabilidade de sobrevivência e de transmitir suas características genéticas para a próxima geração (LUCENA, 2013; GUDER, 2009). Agregados ao

processo de seleção natural estão os fenômenos de recombinação (“cruzamento” ou “*crossover*”) e de mutação, que ocorrem durante o processo de reprodução, atuando sobre o material genético dos cromossomos e garantindo a diversidade das espécies na população (MACHADO, 2011), como representado na FIG.02.

FIGURA 02 - Fluxograma de funcionamento de um Algoritmo Genético



Fonte: Olazar (2007)

O SPEA2 é uma abordagem evolutiva multiobjetiva, tido como componente da segunda geração de métodos evolucionários, os quais apresenta mutilização do conceito de otimalidade de Pareto e de mecanismos para manutenção da diversidade das soluções (herdados da primeira geração). Além de incluir o conceito de elitismo, em que o melhor *indivíduo* de cada geração passa para a próxima geração, de forma a aumentar o espaço de busca, com objetivo de garantir a diversidade da população e obter um conjunto de solução de boa qualidade (COELLO, 2006 apud MACHADO, 2011; QUINZANI, 2010)⁷.

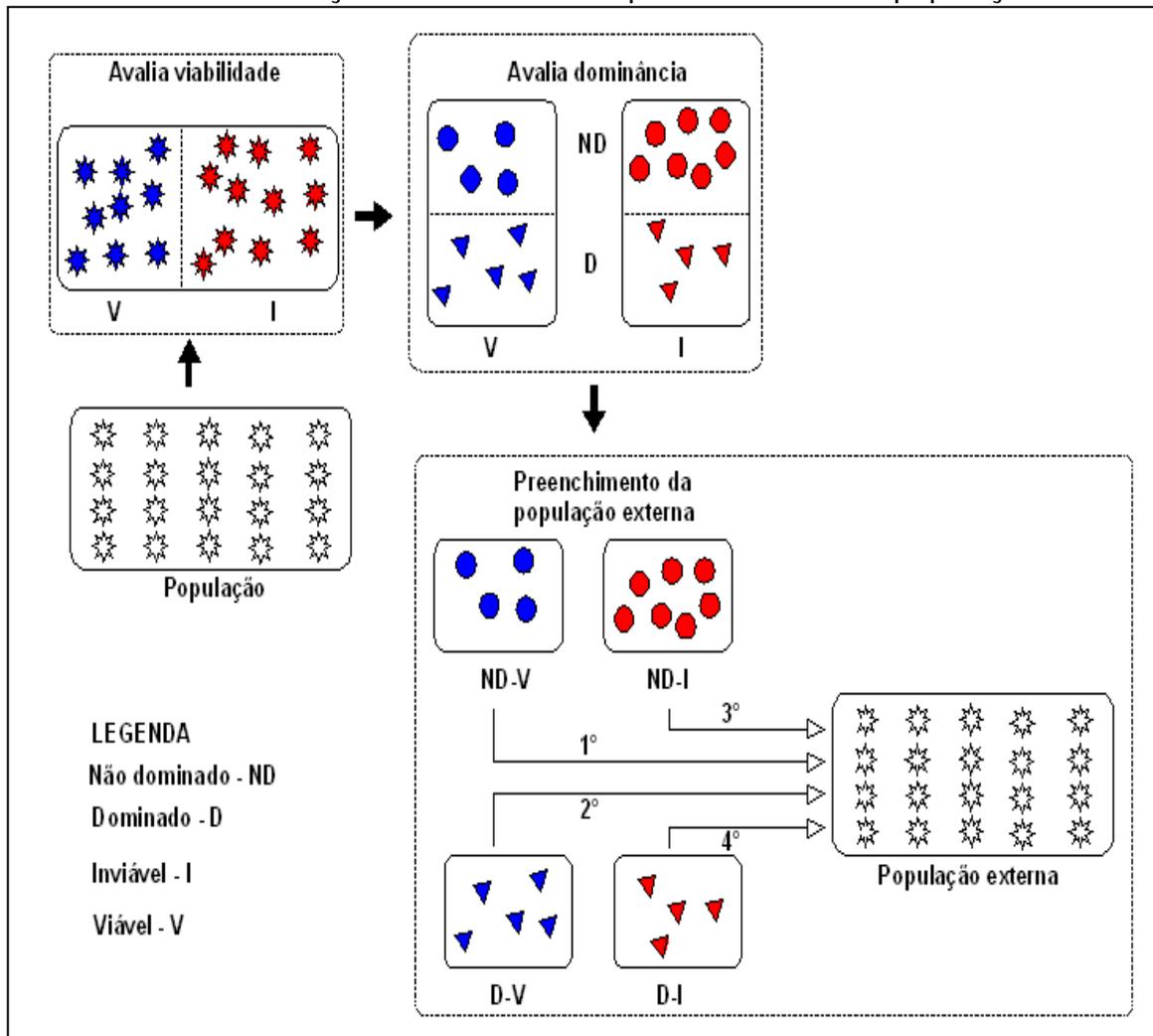
⁷ COELLO, C. (2006). Evolutionary multi-objective optimization: a historical view of the field. IEEE Computational Intelligence Magazine, vol. 1, n. 1, p. 28 – 36.

A priori, é gerada uma população inicial e um arquivo externo vazio, após isso é calculado o valor da aptidão. Utiliza-se o arquivo externo para armazenar as soluções não dominadas encontradas durante o processo evolutivo, sendo calculado em cada geração do SPEA2, para todas as soluções um valor chamado de *strength* (corresponde ao número de indivíduos, pertencentes ao arquivo externo e a população regular, que dominam a solução) que é utilizado para definir o *fitness* da solução (OLAZAR, 2007; ASSUNÇÃO, 2012; LUCENA, 2013).

Os valores de *fitness* igual a zero representam *indivíduos* não dominados por nenhuma outra solução, enquanto que elevados valores de *fitness* indica soluções dominadas por outros *indivíduos* (ASSUNÇÃO, 2012). Posteriormente, os indivíduos não dominados do conjunto de soluções são copiados para compor o arquivo externo da próxima iteração (CORDEIRO, 2008; OLAZAR, 2007; LUCENA, 2013).

Dependo do tamanho do arquivo externo, “pode haver, a necessidade de truncamento ou de completar o novo arquivo externo com elementos dominados”, se os critérios de parada não forem atendidos, deve ser tomada medidas como a inserção da seleção, cruzamento e mutação, de modo a gerar uma nova solução, e repetirá o procedimento até que os critérios de paradas sejam atendidos (CORDEIRO, 2008). Conforme, já descrito, a FIG. 03 abaixo esquematiza a classificação dos indivíduos e preenchimento da população externa considerando os conceitos de viabilidade e de dominância (MACHADO, 2006).

FIGURA 03 - classificação dos indivíduos e preenchimento da população externa



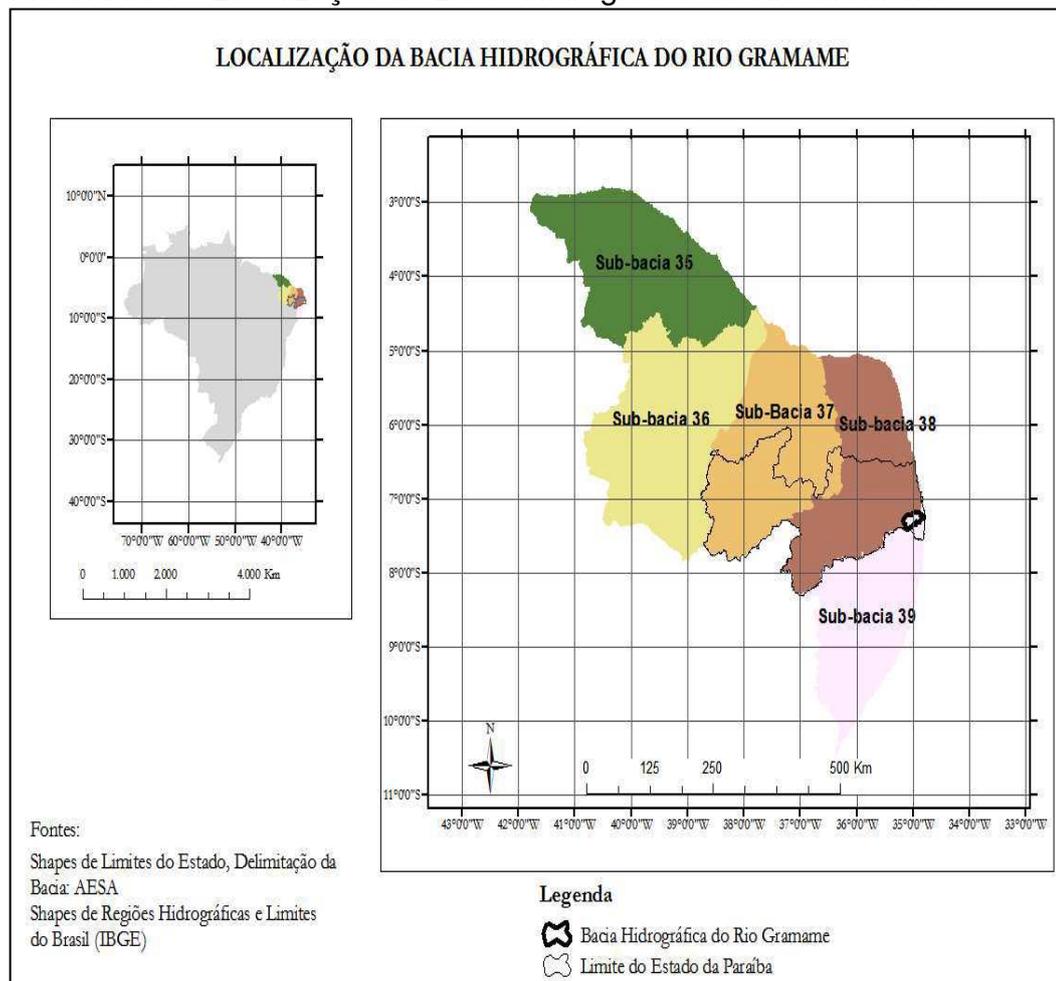
Fonte: Machado (2006)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Gramame localiza-se na região Nordeste do Brasil, entre as latitudes 7°11' e 7°23' S e longitudes 34°48' e 35°10' O. Limita-se ao Norte com a bacia do rio Paraíba, ao Sul com o estado de Pernambuco e a bacia do rio Abiaí-Papocas, a Leste com o oceano Atlântico e a Oeste com a bacia do rio Paraíba, (SANTOS, 2009). Pertence à Sub-Bacia 39 da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, abrangendo mais de uma dezena de pequenas bacias costeiras, caracterizadas pela pequena extensão e vazão de seus corpos hídricos (MACHADO, 2011), conforme apresentado na FIG.04.

FIGURA 04 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame



Fonte: Machado (2011).

É formada pelos municípios de Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel de Taipu e Pedras de Fogo. O rio Gramame nasce na região do Oratório, no município de Pedras de Fogo, à aproximadamente 150 m de altitude, desaguando na praia de Barra de Gramame, limitada entre os municípios de João Pessoa e Conde, possui regime fluvial perene e os seus principais afluentes a margem direita: Rio Utinga, rio Pau Brasil, riacho Pitanga, riacho Ibura, riacho Piabuçu, rio Água Boa. Já na margem esquerda Riacho Santa Cruz, riacho da Quizada, riacho do Bezerra, riacho do Angelim, riacho Botamonte, rio Mamuaba, rio Camaço, rio Mumbaba, cujas principais sub-bacias formadoras da bacia do Rio Gramame são: Mumbaba, Mamuaba e Água Boa (SEMARH, 2000).

A área de drenagem da Bacia do Rio Gramame é de aproximadamente 589,1 km², e comprimento do divisor topográfico, que a delimita de 123,3 km. Sendo formada pelas sub-bacias: Mumbaba, Mamuaba, Água Boa e a sub-bacia do rio Gramame, contribuinte do açude Gramame-Mamuaba, principal reservatório da bacia com capacidade máxima de acumulação de 56,9 hm³ (SANTOS, 2009).

As duas represas dos reservatórios Gramame-Mamuaba, são ligadas por um canal com aproximadamente 800 m de extensão, cujo objetivo é manter estável o nível das águas do reservatório Gramame nos períodos de estiagem prolongada, este reservatório conta com dois fluxos de entrada, o próprio Rio Gramame e o Riacho Piabuçu. Enquanto que o reservatório de Mamuaba que recebe o rio Mamuaba, possui uma área de inundação de 940 hectares e um volume de armazenamento de água de 60 milhões de metros cúbicos. A bacia apresenta um potencial hídrico superficial estimado em 10,21 m³/s, o correspondente a um volume anual de 322,16 milhões de metros cúbicos (SEMARH, 2000).

Dentre os tipos de usos da água na bacia, destacam-se os usos consuntivos para abastecimento da população humano (urbana e rural), industrial, dessedentação animal, irrigação e para diluição (SIMÕES, 2012). E com relação ao uso para abastecimento é importante destacar, a exportação da água da bacia para a cidade de João Pessoa, que constitui o uso mais significativo da bacia, em torno de 58%, seguido da irrigação, com 41 % da demanda total. Para o abastecimento da Grande João Pessoa (abrange Bayeux, Cabedelo e parte de Santa Rita), as principais contribuições são retiradas do rio Mumbaba, através de captação de mesmo nome e conduzidos por adutora até a barragem do rio Marés; e a jusante do

reservatório Gramame-Mamuaba, no rio Gramame, quer seja pela transposição das águas para a bacia hidrográfica do rio Marés, quer seja diretamente através da adutora de Gramame, no ano de 2000, as demandas para exportação foram quantificadas, em 425 l/s e 2230 l/s, respectivamente (SEMARH, 2000).

A Bacia Hidrográfica do rio Gramame, no Estado da Paraíba, já apresenta evidências de esgotamento das vazões outorgáveis, onde alguns trechos apresentam outorgas liberadas muito superiores à recomendada pela legislação (MACHADO, 2011). Devido à baixa disponibilidade hídrica da bacia para atendimento de seus diversos usos tem resultado, na maioria das vezes, em conflitos pelo uso da água, como o que ocorreu entre 1998 e 1999, quando os usuários de irrigação se mostraram insatisfeitos com o abastecimento urbano de cidades localizadas além dos limites geográficos da bacia (SANTOS, 2009), conflitos estes que também são impulsionados, pelas restrições que são impostas às vazões outorgáveis da bacia.

Do ponto de vista climatológico, a bacia do Gramame se encontra na região tropical úmida, faixa litorânea do estado da Paraíba. Com evaporação média anual de 1300 mm, e precipitação média anual de 1740 mm. E segundo a classificação climática de Koeppen, esta região está inserida na zona classificada como Aw'i, o que indica um clima tropical chuvoso com estação seca no outono. Pequena parte da área ocidental da bacia encontra-se classificada segundo este mapa em BSw'h', que indica um clima seco de tipo estepe com estação seca no outono e temperatura média mensal superior a 18°C (CBH-LS, 2004).

Com relação à geologia podemos destacar o embasamento cristalino, dominando na porção central e ocidental ocupando cerca de 15.700 km². Apresentando ainda, afloramento granítico e granitóide, alongado e laminado predominam a superfície da bacia do rio Gramame e assim como em pontos distribuídos a Oeste, portanto, na bacia a predominância dos seguintes tipos de solos (SANTOS, 2009):

- No alto curso dos rios Gramame e Mamuaba, encontram-se os latossolos Vermelhos Amarelo Distrófico, estes que são caracterizados por apresentarem solos profundos, porosos e fortemente drenados;

- No curso médio destacam Podzólicos Vermelho Amarelo Orto (PV1 e PV2) são profundos e bem diferenciados e tem baixa fertilidade natural além de serem bem drenados;
- No baixo curso, ocorrem os Podzóis Hidromórficos (HP): são solos muito arenosos, bem diferenciados, profundos, ácidos, com saturação de bases muito baixa e alta saturação com alumínio;
- Aluissolos (Al): solos de fertilidade natural alta. Pouco profundos ou profundos moderadamente ácidos e/ou moderadamente alcalinas nas camadas inferiores, sem problemas de erosão, apresentam Areias Quartzozas e solos de Mangue.

O relevo da bacia é caracterizado pela predominância de terrenos ondulados, variando de suave a ondulado, onde existem colinas, tabuleiros e várzeas com declividade predominante, com 47,2%, encontra-se entre 0 e 46 km (CBH-LS, 2004).

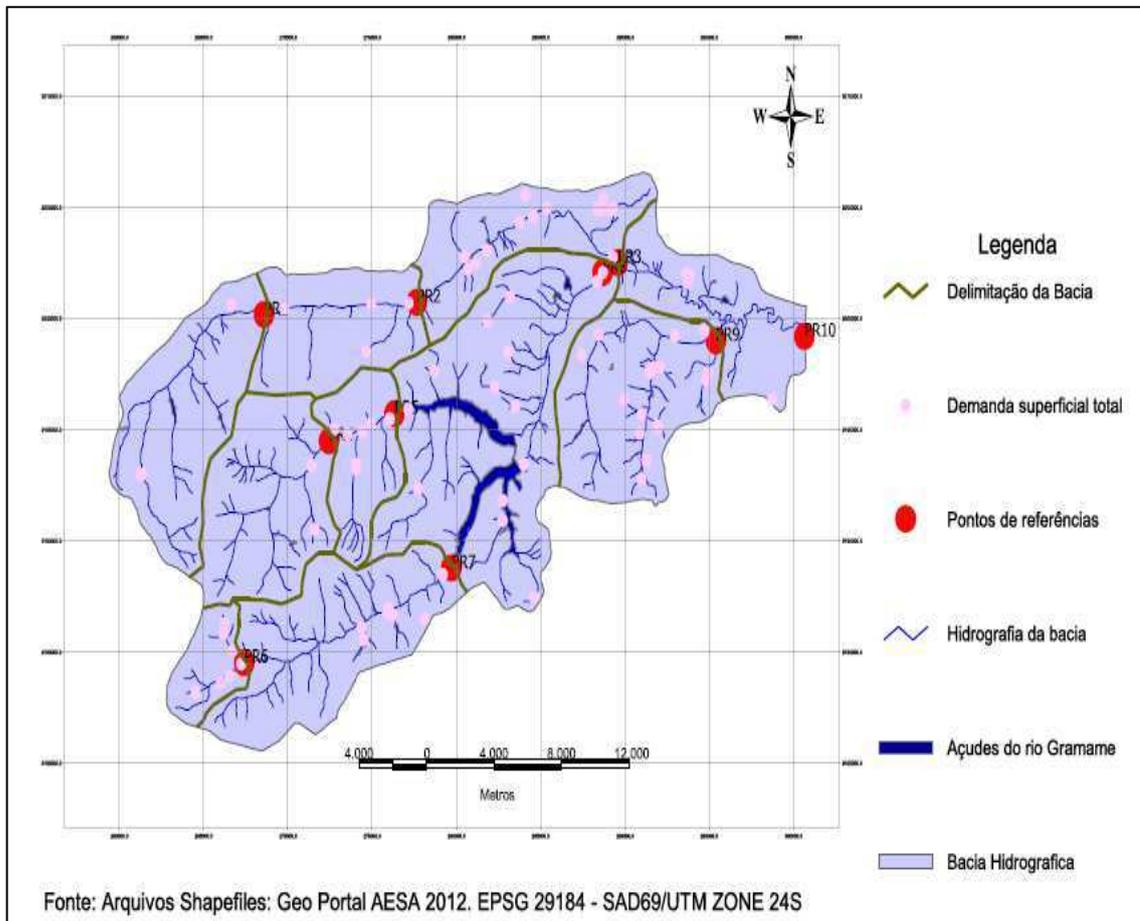
Em relação à vegetação da área da bacia hidrográfica, apresenta apenas 8,64 km² de vegetação nativa, haja vista que a atividade agrícola, instalação de indústrias, loteamento, implantação de açudes e estrutura viária (que somam 97,0%) são responsáveis pelo desmatamento, inclusive da mata ciliar.

4.2. Oferta e demanda pelo uso da água

No estado da Paraíba, o órgão gestor responsável pela análise e emissão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos em corpos hídricos do domínio do estado, é a Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs), criada pela Lei Estadual 7.779/2005 e regulamentada pelo Decreto Estadual 26.224/2005.

O Decreto Estadual nº 19.260, de 31 de outubro de 1997, estabelece, entre outros, que a soma dos volumes de água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder 90% da vazão regularizada com 90% de garantia (0,9Q₉₀). Contudo, para análise da demanda pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio Gramame, foram considerados apenas os usos outorgados, utilizando alguns pontos de controle delimitados pelo Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia (SEMARH, 2000), dos quais, foram definidas dez regiões neste trabalho, conforme mostrado na FIG.05, e considerando para estes pontos de referências vinte e oito usuários.

FIGURA 05 - Pontos de referências adotados na bacia do rio Gramame



Fonte: Autor

Com relação à oferta de água, a TAB.05 apresenta as vazões de referência correspondente aos pontos de referência considerados. Para os pontos PR1 a PR7 e o PR9, estas vazões foram estimadas pelo PDRH da bacia nos pontos de cálculo correspondentes; para o PR8, a jusante do reservatório Gramame-Mamuaba baseou-se o seu valor na vazão regularizada pelo reservatório com 98% de garantia estimada pelo PDRH da bacia; enfim, para o PR10, exutório da bacia, estimou-se o somatório das vazões de referência dos pontos PR3, PR8 (dependendo do cenário) e PR9.

Para estimar o valor máximo outorgável em cada ponto de referência seguiu os preceitos legais estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 19.260, de 31 de outubro de 1997, e para análise da vazão outorgada foram consultados o banco de dados da AESA paralelamente ao cadastro de usuários dos recursos hídricos superficiais da bacia do rio Gramame, referente ao ano de 2012, sendo consideradas, como outorgados, as outorgas regularizadas, vencidas ou em andamento e a vazão ecológica foi considerada como 10% da vazão de referência.

TABELA 05 - Vazões características dos pontos de referência adotados

Ponto de referência	Vazão de referência (l/s)	Vazão outorgável (l/s)	Vazão outorgada (l/s)	Vazão Ecológica (l/s)
PR1	150,0	135,0	4,2	15,0
PR2	250,0	225,0	38,96	25,0
PR3	580,0	522,0	1535,3	58,0
PR4	150,0	135,0	29,9	15,0
PR5	430,0	387,0	112,6	43,0
PR6	55,0	49,5	57,2	5,5
PR7	300,0	270,0	399,5	30,0
PR8	3.130,0	2.817,0	2816,2	313,0
PR9	250,0	225,0	175,1	25,0
PR10	3.960,0	3.564,0	4526,7	396,0

Fonte: Machado (2011)

Os vinte e oito usuários considerados em cada ponto de referência, dos quais, vinte e dois são usuários de irrigação, dois usuários industriais de captação, dois usuários industriais de diluição (ambos no trecho 3), e um usuário de captação para abastecimento urbano da região metropolitana de João Pessoa, em dois pontos diferentes, estão representados na TAB.06, na qual descreve o tipo do uso da água para cada usuário (MACHADO, 2011).

TABELA 06 - Descrição dos usuários adotados em cada ponto de referência

PR	Usuário	Tipo de Uso	Observação
PR1	U1	Agricultura	Cultura de macaxeira com aspersão convencional móvel
	U2	Agricultura	Cultura de feijão com aspersão convencional móvel
	U3	Agricultura	Cultura de inhame com aspersão convencional móvel
	U4	Agricultura	Cultura de Batata-doce com aspersão convencional móvel
	U5	Agricultura	Cultura de Batata-doce com aspersão convencional móvel
	U6	Agricultura	Cultura de Batata-doce com aspersão convencional móvel
PR2	U7	Agricultura	Cultura de abacaxi com pivô central
PR3	U8	Agricultura	Cultura de feijão com aspersão convencional móvel
	U9	Agricultura	Cultura de cana-de-açúcar com pivô central
	U10	Agricultura	Cultura de cana-de-açúcar com pivô central

TABELA 06 - Descrição dos usuários adotados em cada ponto de referência. Continuação

PR	Usuário	Tipo de Uso	Observação
	U11	Abastecimento	Abastecimento urbano da região metropolitana de João Pessoa.
	U12	Diluição	Indústria de papel. Concentração de DBO ₅ do lançamento: 150 mg/l
	U13	Diluição	Indústria têxtil. Concentração de DBO ₅ do lançamento: 100 mg/l
PR4	U14	Agricultura	Cultura de cana-de-açúcar com aspersão com mini canhão
PR5	U15	Agricultura	Cultura de abacaxi com pivô central
	U16	Agricultura	Cultura de abacaxi com pivô central
PR6	U17	Agricultura	Cultura de cana-de-açúcar com aspersão com mini canhão
	U18	Agricultura	Cultura de batata doce com aspersão convencional móvel
	U19	Agricultura	Cultura de batata doce com aspersão convencional móvel
PR7	U20	Agricultura	Cultura de cana-de-açúcar com aspersão com canhão gigante
	U21	Industrial	Captação para uso industrial.
PR8	U22	Abastecimento	Abastecimento urbano da região metropolitana de João Pessoa.
PR9	U23	Agricultura	Cultura de mamão com aspersão convencional móvel
	U24	Agricultura	Cultura de capim com aspersão convencional móvel
	U25	Agricultura	Cultura de mamão com aspersão convencional móvel
	U26	Agricultura	Cultura de mamão com aspersão convencional móvel
	U27	Agricultura	Cultura de abacaxi com aspersão convencional móvel
PR10	U28	Industrial	Captação para uso industrial.

Fonte: Machado (2011)

4.3. Modelos empregados

4.3.1. Algoritmo evolucionário multiobjetivo

Foi utilizado o algoritmo evolucionário multiobjetivo SPEA2 modificado por Machado (2011), que se baseia no conceito de dominância e densidade de vizinhos para avaliar o *fitness*, sendo possível observar quais indivíduos são mais representativos para o conjunto de solução final, através da densidade de vizinhos, além de ser utilizada como critério de decisão entre indivíduos com mesmo grau de dominância. De forma simplificada os conceitos de dominância e de densidade de vizinhança em conjunto com o conceito de viabilidade das soluções, podem

apresentar-se como soluções viáveis (quando não ocorrer nenhuma violação das restrições impostas), e inviáveis (quando ocorrer a violação das restrições). De modo, que para um conjunto de soluções inviáveis consideram-se como mais aptas àquelas que têm o maior valor de ponto de falha que consiste no mês em que ocorre a primeira violação da restrição, e/ou violam as restrições de mais baixa severidade, nas quais foram classificadas em três níveis: de baixa, média e alta severidade (MACHADO, 2011; MACHADO, 2006).

Também foram inseridas modificações nos operadores de seleção e de reprodução, em que uma parte da *população*, sequência de operações do *Crossover Média* (CM), que cada gene dos *indivíduos filhos* é obtido através da média aritmética dos genes dos *indivíduos pais*; e na *Mutação Uniforme*, que nada mais é que a substituição de um gene por um número aleatório. Outra parcela da *população* é submetida ao *Crossover Média Direcionado* (CMD), onde cada par de *pais* submetido a este operador é observada a viabilidade e o ponto de falha de primeira ocorrência entre os dois, e, outra, à *Mutação Direcionada* (MD) quando o *indivíduo filho* não viola nenhuma restrição, sendo tomado como uma réplica do *indivíduo pai*, caso haja a violação, é observado o ponto de falha e o tipo de restrição violada (MACHADO, 2011).

Esses operadores utilizam informações referentes aos pontos de falhas das soluções para definir a posição da recombinação ou de mutação e tentar gerar indivíduos mais aptos e com mais chances de viabilidade (MACHADO, et al., 2005 apud MACHADO, 2006)⁸.

A mutação direcionada alternativa possui duas peculiaridades básicas sendo aplicada apenas em alguns indivíduos inviáveis com ponto de falha diferente de zero e a escolha dos prováveis bits, que sofrerão mutação e baseada nos pontos de falha dos indivíduos e no tipo de alarme violado servindo assim como uma espécie de reparo dos indivíduos, de modo que pretende-se tornar a mutação direcionada mais eficaz, pois, além de se basear no ponto de falha do cromossomo, sugere inversões nos bits ideais para o tipo de falha encontrado (Ibidem).

⁸ MACHADO, E. et al. Avaliação da eficiência de um algoritmo genético para escalonamento de bombas em adutoras. In V SEREA – Seminario Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua. Valenina, 29 de noviembre al 2 de diciembre, 2005.

4.3.2. Modelo de balanço hídrico integrado

Outro modelo utilizado foi o de balanço hídrico quantitativo integrado da bacia na distribuição da vazão. Com este modelo, as alocações de água concedidas para usuários a montante diminuíam o volume disponível para os usuários de jusante e vice-versa, no qual não foi realizado o cálculo da propagação e autodepuração das cargas ao longo da bacia, sendo avaliado apenas o trecho receptor do lançamento (MACHADO, 2011).

E para operação do reservatório utilizou um modelo simplificado de operação para o reservatório, de forma a considerar como entrada as vazões remanescente dos trechos a montante e a precipitação prevista, e como saída, a evapotranspiração, a vazão outorgável do reservatório e o volume extravasado, caso ocorra. Também foi levada em consideração a probabilidade de ocorrência de alarme de nível do reservatório, e caso atinja 40% do nível máximo, seu volume liberado é reduzido pela metade (MACHADO, 2011).

4.3.3. Funções objetivo e restrições da otimização

Foram utilizadas como funções objetivo equações baseadas nas propostas por Machado (2011), que utilizou na Bacia do Rio Gramame um algoritmo evolucionário multiobjetivo para otimizar a alocação interanual da vazão excedente. Tais funções foram modificadas de modo a atender as situações impostas a distintos cenários de renegociação de outorga, e no auxílio de medidas de gerenciamento de conflito na bacia, e estão descritas a seguir:

Função objetivo 1: De ordem técnico-econômica é uma função de maximização da satisfação do usuário, uma vez que tentar aproximar o volume alocado o tanto mais próximo quanto possível do requerido, ao mesmo tempo em que considera a eficiência do uso da água, prioridades diferentes de acordo com o tipo de uso da água, e o critério de antecedência do pedido de outorga do usuário, tal como apresentado na Equação 1.

$$FO1_{MAX} = \frac{\sum_{c=1}^{nPR} \left[\frac{\sum_{u=1}^{uFIM_c} \left(\frac{\sum_{m=1}^{nm} V_{u,m} \cdot P_{u,CAu}}{V_{r,u,m}} \right)}{nuc} \right]}{nPC} \quad (1)$$

Em que:

nPR é o número de pontos de referência de captação na bacia;

nuc é o número de usuários vinculados ao ponto de referência de captação c ;

$uINI_c$ é o índice do usuário inicial do ponto de referência de captação c ;

$uFIM_c$ é o índice do usuário final do ponto de referência de captação c ;

$Va_{u,m}$ é o volume adicional alocado para o usuário u no mês m [m^3];

$Vr_{u,m}$ é o volume adicional requerido pelo usuário u no mês m [m^3];

nm é o número de meses do período da análise;

P_u é o coeficiente de priorização do uso da água, valor variável de 0 a 1, onde 1 consiste no uso mais prioritário e 0 ao uso menos prioritário.

CA_u é o coeficiente de antecedência do pedido de outorga do usuário na bacia, valor variável de 0 a 1, onde 1 consiste no pedido do usuário mais antigo

Dessa forma, com a mesma função objetivo, apenas variando a magnitude dos coeficientes, é possível avaliar os distintos cenários de renegociação de outorga, no qual pode ser priorizado o coeficiente de antecedência do pedido de outorga.

Função objetivo 2: De ordem ambiental, busca a minimização da emissão de poluentes, através da maximização da aproximação da concentração resultante da mistura com a concentração máxima admissível, podendo ser utilizado um ou mais poluentes (Equação 2).

$$FO2_{MAX} = \begin{cases} \text{se, } C_{res_{pl,m}} > C_{adm_{pl,m}}: \frac{\sum_{pl=1}^{nPl} \left[\frac{\left(\sum_{m=1}^{nm} \frac{C_{adm_{pl,m}}}{C_{res_{pl,m}}} \right)}{nm} \right]}{nPl} \\ \text{se, } C_{adm_{pl,m}} \geq C_{res_{pl,m}}: \frac{\sum_{pl=1}^{nPl} \left[\frac{\left(\sum_{m=1}^{nm} \frac{C_{res_{pl,m}} + 1}{C_{adm_{pl,m}}} \right)}{nm} \right]}{nPl} \end{cases} \quad (2)$$

Onde:

nPl é o número de pontos de referência de lançamento de efluentes na bacia hidrográfica;

$C_{res_{pl,m}}$ é a concentração resultante do poluente no ponto de referência de lançamento pl [mg/l];

$Cadm_{pl,m}$ é a concentração admissível do poluente no ponto de referência de lançamento pl [mg/l].

Foi considerado um valor máximo permissível de 10mg/l de DBO₅ no ponto de referência 3, que é único trecho da bacia em que ocorre lançamento de efluentes. Tal valor é o mesmo adotado em Machado (2011), levando em consideração o valor máximo permitido e estabelecido legalmente para cursos de água com enquadramento na classe 3, sendo perfeitamente aplicável ao ponto de referência 3.

As situações de conflitos também foram representadas nas restrições da otimização, definidas como um conjunto de funções que define o espaço de busca viável do cenário otimizado e que impõe limites nos parâmetros analisados. As restrições utilizadas estão relacionadas à operação do reservatório, onde se concentram uma boa parte das outorgas de captação; e ao lançamento de poluentes em cursos d'água, de modo a incluir, no processo de alocação, também as outorgas de diluição, como descrito em Machado (2011):

- *Sustentabilidade da operação no reservatório*: Definida através da comparação entre o nível final e o inicial do reservatório. Soluções cujo nível final do reservatório seja menor do que 90% do inicial são consideradas inviáveis;
- *Nível de reserva no reservatório*: Manutenção de um nível de reserva no reservatório para absorver as incertezas envolvidas e garantir os usos prioritários. Soluções que violem esse volume de reserva (adotado neste caso como 40% do volume útil) são consideradas inviáveis;
- *Concentração admissível dos poluentes*: Para usuários de lançamento de efluentes, a carga lançada deve ser diluída na vazão disponível presente no trecho, sem alteração da concentração admissível. Soluções que violem a concentração admissível são consideradas inviáveis.

Tais restrições são usadas nas adaptações para o modelo de otimização multiobjetivo, no qual foram definidos, para cada uma, os níveis de severidade e ações de reparo da mutação direcionada definidas, tal qual utilizada por Machado

(2011): *Sustentabilidade da operação no reservatório* (Severidade Baixa), e com relação à ação da mutação a vazão alocada é diminuída, aos usuários de trechos imediatamente a montante do reservatório, em todos os meses; *Nível de reserva no reservatório* (Severidade Média) e na ação da mutação, a vazão alocada aos usuários de trechos imediatamente a montante do reservatório também é reduzida, a partir do mês imediatamente anterior ao ponto de falha; *Concentração admissível dos poluentes* (Severidade Alta), cuja ação da mutação é diminuir a vazão alocada dos usuários de lançamento de efluentes dos trechos onde ocorreu o alarme, a partir do mês do ponto de falha.

Para os cenários de renegociação de outorga não foi realizada a previsão de vazão, pois o Decreto Estadual nº 19.260, de 31 de outubro de 1997, estabelece a vazão regularizada com 90% de garantia ($0,9Q_{90}$) como valor máximo a ser outorgado entre os usuários. Tais vazões em cada trecho foram apresentadas na TAB.05. Logo, o problema de otimização consiste na alocação destas vazões entre todos os usuários de cada trecho, de modo a deliberar acerca de novos valores outorgados.

Para o coeficiente de antecedência (C_a) da Função objetivo 1 foram estimados valores de acordo com o banco de dados de usuários fornecido pela AESA. Tais coeficientes serão apresentados na TAB.07, da qual se destacam, como usuários mais antigos, os usuários U11 e U22, que representam o uso para abastecimento de água da região metropolitana de João Pessoa.

TABELA 07- Coeficientes de antecedência dos usuários

Ponto de referência / usuário		Coeficiente de antecedência
PR1	U1	0,3
	U2	0,6
	U3	0,1
	U4	0,6
	U5	0,6
	U6	0,6
PR2	U7	0,5
PR3	U8	0,4
	U9	0,4
	U10	0,3
	U11	1,0
	U12	0,2

TABELA 07- Coeficientes de antecedência dos usuários. Continuação

	U13	0,2
PR4	U14	0,2
PR5	U15	0,7
	U16	0,8
PR6	U17	0,5
	U18	0,5
	U19	0,4
PR7	U20	0,9
	U21	0,1
PR8	U22	1,0
PR9	U23	0,8
	U24	0,8
	U25	0,3
	U26	0,9
	U27	0,9
PR10	U28	0,7

Fonte: Autor

Nos dois cenários de renegociação de outorga analisados foi considerado o uso mais prioritário o do abastecimento seguido pelos demais usos da bacia, como o uso para indústria e o para irrigação, cuja variação foi representada no parâmetro Prioridade de uso (Pu) da Função objetivo 1, no qual foi estabelecido o valor de 1,0 para os usuários de abastecimento e de 0,5 para os demais usos.

Com relação ao valor outorgado, adotou-se para cada ponto de referência um valor outorgado igual à zero, ou seja, os valores outorgados segundo dados da AESA, referentes ao ano 2012, foram transformados em valores requeridos (TAB.08), sendo que, no Cenário 1 considerou-se que tais valores são requeridos de forma constante todos os meses do ano e, no Cenário 2, considerou-se que os usuários de agricultura e o usuário de abastecimento U11 demandam essa vazão apenas nos meses mais secos, de setembro a fevereiro.

TABELA 08 - Vazão requerida para cada usuário

Ponto de Referência	Usuário	Vazão requerida (l/s)
PR1	U1	0,31
	U2	0,91
	U3	0,63
	U4	1,64
	U5	0,55
	U6	0,18
PR2	U7	34,74
PR3	U8	23,26
	U9	23,16
	U10	24,93
	U11	381,70
	U12	89,07
	U13	954,27
PR4	U14	29,89
PR5	U15	34,45
	U16	48,25
PR6	U17	33,008
	U18	16,14
	U19	8,06
PR7	U20	201,27
	U21	140,98
PR8	U22	2816,22
PR9	U23	14,62
	U24	17,47
	U25	24,42
	U26	24,42
	U27	94,20
PR10	U28	23,21

Fonte: Autor

Os parâmetros de controle do algoritmo evolucionário foram mantidos invariáveis, sendo que o tamanho da *população* foi 200 *indivíduos*, dimensão da *população* externa 50% da *população*, probabilidade de *crossover* médio aleatório (CM) 80%, probabilidade de *crossover* médio direcionado (CMD) 80%, probabilidade de mutação direcionada (MD) 30%, e o número de gerações foi de 300 gerações.

Contudo, para cada cenário analisado foram realizadas duas repetições de otimização, sendo selecionada da *população* de soluções aquela que apresentou melhor valor de aptidão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A TAB. 09 mostra de forma resumida os resultados referentes às soluções de melhor aptidão encontrada em cada cenário. Observa-se que, ao final da execução do algoritmo multiobjetivo, não foram encontradas soluções viáveis em nenhum dos dois cenários, pois, em ambos foram detectados alarmes de concentração de DBO, alarmes de nível de reserva do reservatório e alarmes de sustentabilidade do reservatório. Contudo, em relação ao alarme de concentração admissível, observa-se que no Cenário 2 o valor máximo de DBO foi inferior ao Cenário 1, e que, o alarme só inicia a partir do mês de setembro, em contraposição ao mês de agosto do Cenário 1. Tal alarme reflete meses que apresentaram valores de DBO superiores ao valor máximo aceitável (10 mg/L), levando em consideração o valor máximo estabelecido legalmente para cursos de água com enquadramento na classe 3.

TABELA 09 - Caracterização das soluções dos cenários de alocação da vazão para fins de renegociação da outorga

Cenários	DBO medida		Reservatório		Funções objetivo	
	Valor máximo (mg/l)	Alarme de concentração	Alarme nível de reserva	Alarme sustentabilidade	FO1	FO2
1	83,6	A partir de setembro	A partir de abril	Ocorreu	0,2188	1,0291
2	69,9	A partir de agosto	A partir de abril	Ocorreu	0,2072	0,9896

Fonte: Autor

Em relação às funções objetivo, observam-se valores muito semelhantes nos dois cenários, sendo que, valores discretamente melhores foram encontrados no Cenário 1. Já em relação a porcentagem da outorga atual repactuada para cada ponto de referência nos dois cenários (TAB. 10), é significativa o ganho percentual do Cenário 2, que conseguiu atender a 78,4% dos atuais valores de outorga, contra 66,2% do Cenário 1.

TABELA 10 - Outorga atual repactuada por ponto de referência na solução de melhor aptidão dos cenários

Pontos de referência	% Outorga atual repactuada	
	Cenário 1	Cenário 2
PR1	97,9	99,0
PR2	78,5	99,5
PR3	19,6	45,8
PR4	95,9	99,4
PR5	72,8	88,6
PR6	50,0	75,01
PR7	28,8	59,2
PR8	43,2	37,0
PR9	75,2	80,4
PR10	100,0	100,0
MÉDIA	66,2	78,4

Fonte: Autor

A Figura 06 mostra o comportamento do nível do reservatório obtido na solução otimizada de melhor aptidão do Cenário 1, na qual observa-se que o reservatório Gramame-Mamuaba atinge cota mais alta (31,59 m) no mês de janeiro e cota mais baixa (17 m) nos meses de setembro e novembro, comprometendo a sustentabilidade do reservatório nestes meses.

FIGURA 06 – Variação do nível do reservatório da solução otimizada do Cenário 1



Fonte: Autor

A Tabela 11 mostra os valores individuais de porcentagem da outorga atendida para cada usuário em cada ponto de referência da solução otimizada do Cenário 1, na qual é possível destacar que os usuário do ponto de referência 1 (PR1) obtiveram excelentes resultados no atendimento da vazão outorgada, com destaque para o usuário U6 que obteve em média, 99,9% da vazão outorgada atendida. Assim como o usuário U6, o usuário do ponto de referência 4 (PR4) também teve 95,9% de sua vazão outorgada atendida. Outro ponto que obteve um bom resultado foi o ponto de referência 10 (PR10) com 100% da sua outorga atendida.

TABELA 11 - Outorga atual repactuada por usuário em cada ponto de referência do Cenário 1

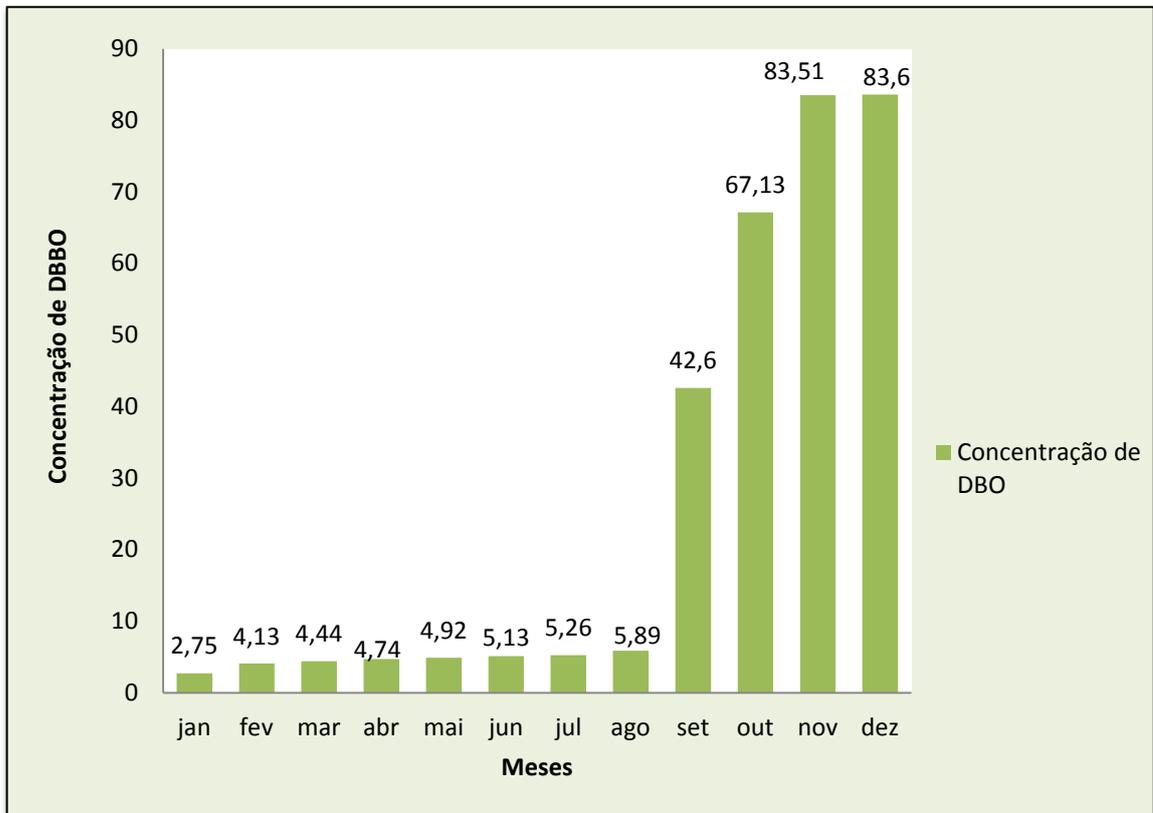
PR		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
PR1	U1	98,6	100	100	94,6	100	100	100	99,9	100	98	100	100	99,3
	U2	85,6	97,8	66,2	94	74	100	100	100	98,7	100	100	100	93
	U3	96,7	100	100	99,3	99,9	100	100	99,9	97,4	93,8	100	100	98,9
	U4	89,6	99,6	100	98,1	98,3	100	100	100	98,3	92,5	100	100	98
	U5	100	100	100	99,8	98,6	100	100	100	79,3	100	100	100	98,1
	U6	100	100	100	100	100	100	100	100	99,2	99,9	100	100	99,9
PR2	U7	97,8	100	17,6	95,5	17,6	17,6	96,4	100	99,7	100	99,6	100	78,5
PR3	U8	8,2	23,2	7,4	1,9	3,7	2,5	4,1	8,2	100	100	100	3	30,2
	U9	12,4	22,5	6,2	2,1	0,9	1,6	1,8	9,8	100	100	100	1,1	29,9
	U10	18,75	24,6	6,9	0,8	0,1	2,9	2,6	1,5	100	100	100	0,6	29,9
	U11	0,82	1,1	0,6	0,1	0,2	0,1	0,1	0,7	27,6	4,1	5,85	0,1	3,4
	U12	4	4	0,6	0,5	0,3	0,7	0,4	0,4	59,8	100	100	0,5	22,6
	U13	0,32	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0,3	10,1	7,5	2,9	0,1	1,8
PR4	U14	100	100	97,3	100	88,5	100	100	73,3	99,7	100	91,4	100	95,9
PR5	U15	94,5	100	100	23,2	94,6	100	68,4	68,2	97,7	98,7	100	100	87,1
	U16	75,4	100	100	100	2,6	100	2,7	2,2	13,7	4,9	100	100	58,5
PR6	U17	37,8	69,8	11,8	40,5	2,2	2,8	61,2	65,3	16,1	62,3	62,1	32,2	38,7
	U18	59,4	74,1	75	26,8	2,1	4,9	14,9	84,8	25,4	100	75,4	100	53,6
	U19	85,4	76,9	75	100	5,7	7,2	100	5,1	25,2	14,3	100	98,6	57,8
PR7	U20	38,4	44	42,7	6,8	13,1	17,9	5	26,7	7,7	1,1	7,6	7,1	18,2
	U21	91,6	11,7	16,1	9,6	100	100	12,5	100	12,7	2,2	9,8	7,1	39,4
PR8	U22	81,4	87,2	72,7	38,2	43,6	49,5	43,6	50,6	20,6	0	31,3	0	43,2
PR9	U23	100	2,5	99,2	13,5	100	95,6	100	100	84,6	100	100	100	83
	U24	100	100	99,5	100	1,4	93,6	100	100	90,4	100	77,9	100	88,6
	U25	100	100	73,8	64,1	100	61,5	100	23	87,6	69,1	100	51,3	77,5
	U26	100	100	55,6	100	100	76,7	100	100	54,6	100	100	100	90,6
	U27	3,7	23,9	50,2	47,7	85,3	25,3	67	31,9	22,3	33,2	39,5	9,3	36,6
PR10	U28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Total Médio														62,6

Fonte: Autor

Em contrapartida, alguns usuários do ponto de referência 3 (PR3), especialmente os de abastecimento urbano da região metropolitana de João Pessoa (U11) e de diluição (U12 e U13), apresentaram baixíssimos índices de atendimento nos meses de janeiro a agosto e no mês de dezembro, além do não atendimento nos meses como junho e julho. Por sua vez, o ponto de referência 7 (PR7) também apresentou baixos índices de atendimento, como pode ser observado na TAB. 11.

Com relação a concentração de DBO (FIG. 07), pode-se observar que a concentração de DBO sofre uma elevação bastante significativa a partir do mês de setembro, este aumento é compatível com o aumento da vazão alocada neste período no ponto de referência 3.

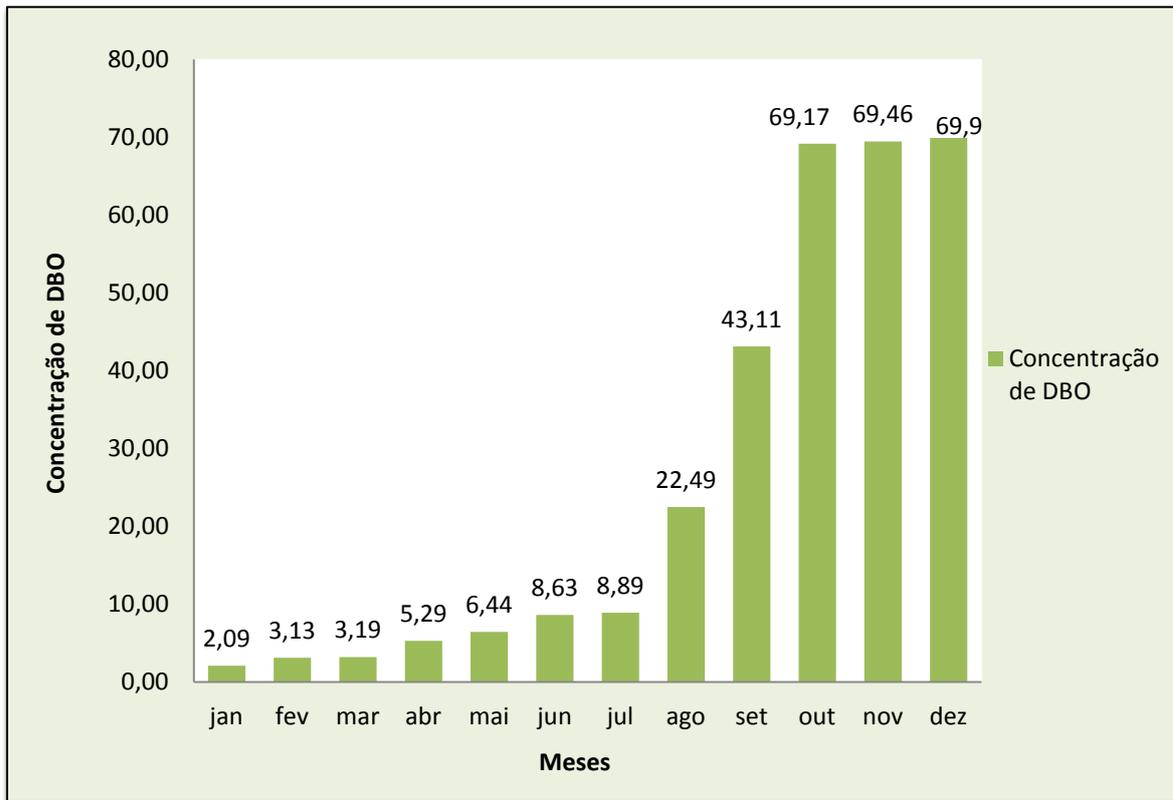
FIGURA 07- Concentração de DBO acumulada no PR3 – Cenário 1



Fonte: Autor

O Cenário 2 considera a mesma prioridade de uso para abastecimento do Cenário 1, no entanto, a vazão requerida é variável, haja vista que a alocação para os usuários, é concedida apenas nos meses de estiagens, com exceção dos usuários U12 e U13 (usuários de diluição), U21 (captação para uso industrial) e U22 (abastecimento urbano da região metropolitana de João Pessoa) e U28 (captação para uso industrial), no quais a vazão é requerida o ano inteiro. Neste cenário também se constatou a violação no alarme de concentração máxima de DBO, mas em proporções menores, devido o início da ocorrência, ter sido mais tardia, a partir do mês de setembro e em valores absolutos menores (ver FIG. 08).

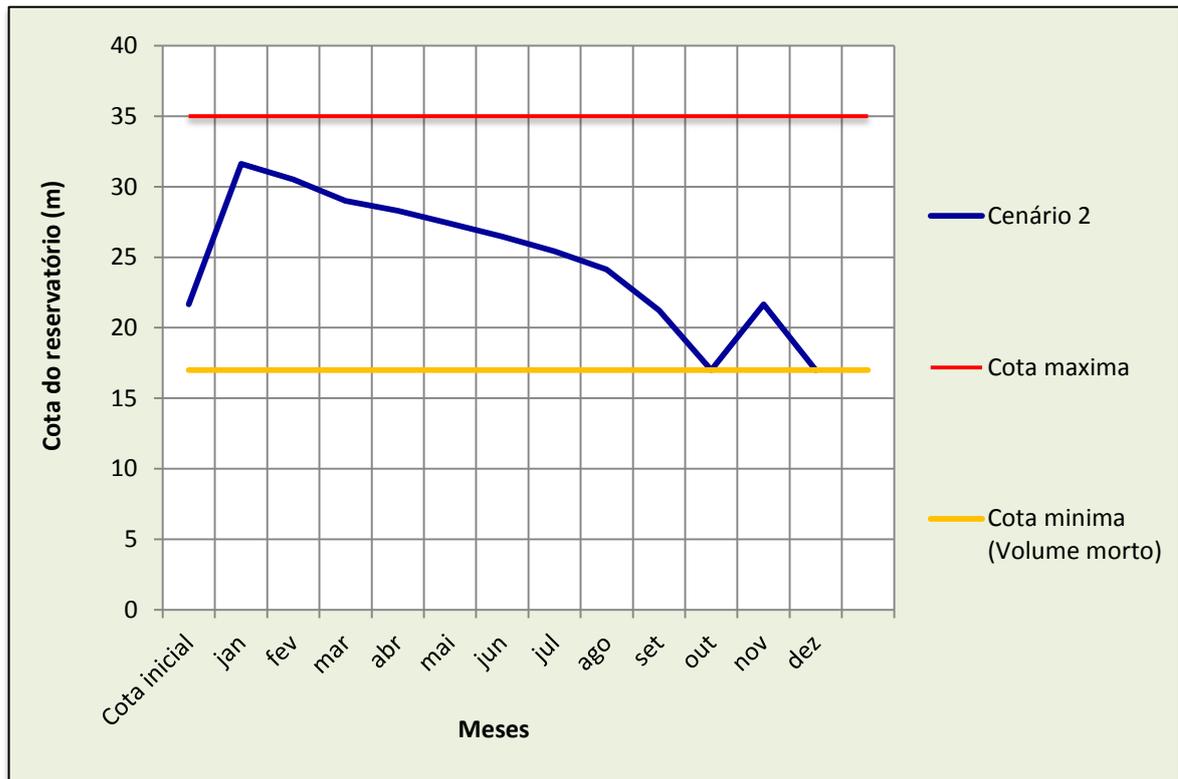
FIGURA 08 - Concentração de DBO acumulada no PR3 – Cenário 2



Fonte: Autor

No entanto, embora adotado critérios distintos para a execução deste cenário, os alarmes de nível de reserva e de sustentabilidade se mostraram bastante parecidos com os do Cenário 1, sobretudo nos pontos de falha de nível de reservatório que se manteve nos mesmos meses, e no alarme de sustentabilidade que se apresentaram em meses bem próximos um do outro (outubro e dezembro) enquanto que no Cenário 1 ocorreu em setembro e novembro. Da mesma forma as cotas mínimas do reservatório, e as máximas que se apresentaram semelhantes às encontradas no Cenário 1, tal como observado na FIG. 09.

FIGURA 09 - Variação do nível do reservatório da solução otimizada do Cenário 2.



Fonte: Autor

A Tabela 12 mostra os valores individuais de porcentagem da outorga atendida para cada usuário em cada ponto de referência da solução otimizada do Cenário 2. Observa-se que os usuários do ponto de referência 1 (PR1) obtiveram excelentes resultados de atendimento da vazão outorgada com quase 100%, em média, com destaque para o usuário U6 com 100% da sua outorga atendida, da mesma forma o PR28, também obteve bons resultados (100%).

Além disso, alguns usuários do ponto de referência 3 (PR3), especialmente aos usuários de abastecimento urbano para a região metropolitana de João Pessoa (U11) obtiveram uma média razoável (52,2%) da vazão alocada, e considerada boa quando comparada com o cenário 1 (3,4%). Por sua vez, os usuários de diluição (U12 e U13) apresentaram baixos índices de atendimento mensais em média 14,8% e 2% respectivamente. Contudo, comparando-se com o cenário anterior, percebe-se que, para U12 houve uma redução de 22,6% para menos de 15%, e um pequeno acréscimo no U13 de 1,8% para 2%.

Também foram observados bons resultados no percentual de atendimento para os seguintes usuários: U4, U7, U14, U15, U23, U24, U25, U26, mesmo que não tenha sido possível alocar a vazão requerida em certos meses para alguns usuários

de diferentes pontos de referências, a exemplo, do PR8 que obteve média de 37% de atendimento.

TABELA 12 - Outorga atual repactuada por usuário em cada ponto de referência do Cenário 2

PR		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
PR1	U1	100	100							100	98,7	100	100	99,9
	U2	100	100							100	98,6	100	100	99,9
	U3	99	100							100	96,7	100	100	99,6
	U4	93,8	47							100	94,7	100	100	94,6
	U5	99,7	100							100	98,5	100	100	99,9
	U6	100	100							100	100	100	100	100
PR2	U7	100	100							100	99,8	100	94,3	99,5
PR3	U8	10,8	14,5							100	77,2	5,4	3,7	67,6
	U9	6,4	15,1							100	100	12,4	3,3	69,8
	U10	6,4	6,2							100	100	5,3	0,8	68,2
	U11	2,2	0,5							17,8	11,7	0,5	0,2	52,7
	U12	1,8	1,1	0	4	2,3	4,6	0,5	21,9	42,2	97,9	1	0	14,8
	U13	0,3	0,4	0	0,6	0,3	0,6	0,1	6,2	5,7	9,1	0,2	0	2
PR4	U14	100	99,6							97,8	95,8	100	99,3	99,4
PR5	U15	100	45,9							100	100	45,3	98,2	90,8
	U16	100	35,8							100	100	26,4	74,4	86,4
PR6	U17	46	10							20,5	31,4	4,6	13,8	60,5
	U18	53,1	30,7							92,9	32,8	17	100	77,2
	U19	100	30,9							100	100	16,8	100	87,3
PR7	U20	12,8	20,2							22,6	87,5	49,1	33,7	68,8
	U21	17,7	87,7	17	96,5	71,7	16,5	98,4	11,8	22,1	38,1	45,7	71,7	49,6
PR8	U22	62,6	67,8	56,9	34,4	38,1	34,1	34,1	40,7	34,1	0	40,7	0	37
PR9	U23	22,5	95							94,2	100	99,2	43,8	87,9
	U24	22,9	83,4							65,8	36,8	90,8	97,4	83,1
	U25	100	86,6							82,4	40,8	64,4	9,2	81,9
	U26	17,1	89							73,5	80,2	70,6	100	85,9
	U27	41,9	18,3							37,6	13,1	20,9	28,7	63,4
PR10	U28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Total Médio														76

Fonte: Autor

6. CONCLUSÃO

Foi possível ratificar os atuais critérios de determinação da vazão outorgável como potencial foco de conflitos, pois, nos cenários avaliados não são requeridas vazões adicionais além do que já está efetivamente outorgado, e, ao distribuir as vazões outorgáveis seguindo os preceitos legais entre os usuários observou-se que alguns trechos já se encontram esgotados legalmente e extrapolam os valores outorgados. Tais critérios são tão restritivos que no Cenário 1 não foi possível atender mais de 70% dos atuais valores outorgados, mesmo estabelecendo prioridade de uso, o que evidencia a distribuição de outorgas acima do valor máximo outorgável estabelecido legalmente. Mesmo sendo adotado no estado da Paraíba, como vazão de referência a Q_{90} que considerada menos restritiva que a $Q_{7,10}$.

Com relação às situações de conflitos provocados por esses critérios foi possível identificar os trechos da bacia em que os conflitos são mais intensificados, podendo ser classificados como conflitos de primeira ordem, motivados por destinação de uso, disponibilidade quantitativa e qualitativa, existentes entre usuários da mesma bacia (ponto de referência 3), e entre diferentes usos, como ocorre entre os usuários de irrigação e abastecimento, não sendo possível a renegociação de água para usuários.

Dentre os dez pontos de referências adotados, o ponto de referência 3 foi o que apresentou os piores resultados, por abranger os usuários de diluição de efluentes (U12 e U13) causando alarmes no sistema ao ultrapassar o limite de concentração admissível de DBO, prejudicando os demais usuários do deste ponto, sobretudo o usuário (U11) de abastecimento da região metropolitana de João Pessoa, mesmo considerando prioridade de uso para todos os cenários, conforme a Lei nº 9.433/1997, e considerando a vazão alocada apenas em períodos de disponibilidade favorável, tal como no Cenário 2.

Portanto, por meio do estudo realizado na bacia do Rio Gramame recomenda-se: a flexibilização dos critérios de outorga em especial para aqueles trechos que possuem altos percentuais de vazão ecológica, bem como o aprimoramento na análise das concessões de outorga com o intuito de diminuir as divergências encontradas nos processos de concessão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Plano estadual de recursos hídricos do Acre** – Rio Branco: SEMA, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Diagnostico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país – diretrizes e prioridades**. Brasília: ANA, 2005. Disponível em <<http://www.dominiopublico.gov.br>> Acesso em: 04/03/2014.

_____. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas/Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília - DF, 2011. Disponível em <<http://www.dominiopublico.gov.br>> Acesso em: 04/03/2014.

ALEMAR, A. **Geopolítica das águas: o Brasil e o direito internacional fluvial**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia– UFU, Uberlândia – MG, 2006.

ALMEIDA, L. F. de S. **Comitês de Bacias Hidrográficas: Um Instrumento de Descentralização na Gestão Territorial das Águas no Brasil**. Reencuentro de Saberes Territoriales Latinos americanos, 14 EGAI - Encuentro de Geógrafos de América Latina. Perú, 2013.

ANDRADE, L. N de. **Modelo de otimização multiobjetivo para Outorga de diluição de efluentes e enquadramento de corpos d'água**. 2012. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental; Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória - ES, 2012.

ARAÚJO, B. A. M. de. **Alocação de água no Ceará: diagnóstico e desafios**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza – Ceará, 2012.

ASSIS, W. D. ; et al. **Gestão de conflitos pelo uso da água em uma bacia Hidrográfica através da otimização da alocação da vazão excedente**. João Pessoa – PB: Anais do SINGA, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS – REGA. **Revista de Gestão de água da América Latina**. Vol. 4, nº 1, ABRH. Porto Alegre, 2007.

ASSUNÇÃO, W. K. G. **Uma abordagem para integração e teste de módulos baseada em agrupamento e algoritmos de otimização multiobjectivos**. 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Paraná – UFP, Curitiba – Paraná, 2012.

ÁVILA, C. P. G.; RODRIGUES, A. C.de J. **Outorga de uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Paraguai – Mato Grosso**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves-RS, 2013.

AZEVEDO, L. G. T. et al. **Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil**. In: AZEVEDO, L. G. T; MEJIA, A (Coord). Série Água Brasil. Brasília: Banco Mundial, 2003. 48p.

BALTAR, A. M.; et al. **Sistemas de suporte à decisão para a outorga de direitos de uso da água no Brasil**. In: Série Água Brasil², Banco Mundial, Brasília, 2003.

BARBOSA, B. L. **Outorga hídrica sob a ótica da análise multicriterial estudo de caso: Reservatório Coremas-Mãe D'Água – PB**. 2009.171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental; Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, 2008.

BENETTI, A.D.; LANNA, A.E.; COBALCHINI, M.S. **Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, 2003.

BINOTTO, D. **Proposta de enquadramento para a Bacia Hidrográfica do Arroio Jacutinga, Município de Ivorá – RS**. 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Santa Maria – RS, 2012.

BRAGA, B. et. al. **Introdução à engenharia ambiental – 2º edição**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934. Decreta o Código das Águas**. Diário Oficial da União. 27 de jul. 1934. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm. Acesso em: 10 jan. 2014.

_____. **Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da União. 9 de jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm. Acesso em: 5 dez. 2013.

CAMARA, A. C. F. C. **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da Bacia do Rio Gramame (PB)**. 2003. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CAMPOS, N.; STUDART, T. M. C. **A cobrança pelo uso da água**. In: _____ (Org.). **Gestão de águas: princípios e práticas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 7, p. 99-110.

CAROLO, F. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: Instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 2007. 203 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável; Políticas Públicas e Gestão Ambiental) – Universidade de Brasília – UB, Brasília – DF, 2007.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (GO). **Legislação de Recursos Hídricos do Estado de Goiás**, Secretaria Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos. - 1. ed. - Goiânia: 2012. Disponível em: http://www.semarrh.goias.gov.br/site/uploads/files/recursos_hidricos/recursos_hidricos. Acesso em: 10 jan. 2014.

CORDEIRO, F. R. **Uma ferramenta de simulação para otimização multi-objetiva evolucionária**. 2008. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco, Recife – PE, 2008.

CUNHA, M. S. A. da. **Análise espacial dos usos de água outorgados para a bacia do Ribeirão Ubá (MG), no período de 2007 a 2012**. 2013. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa - MG, 2013.

CURI, W. F.; CELESTE, A. B.; CURI, R. C.; RODRIGUES, A.C. L. **Um Modelo de Outorga para Bacias Controladas por Reservatórios: 1 - Desenvolvimento do Modelo que Contempla Demandas Múltiplas e Variáveis Mensalmente, 2011**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.4, 2011.

DANTAS, P. H.N. **Fundamentos da gestão de recursos hídricos no Rio Grande do Norte**. 2013. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Angicos-RN, 2013.

DEB, K. (2001). **Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms**. John Wiley&Sons, Ltd. Chichester, England.

EIBEN, A. E.; SMITH, J. E. **Introduction to Evolutionary Computing**. Spring, 2003.

FELINTO, C. M. R. **Geoprocessamento como ferramenta no diagnóstico entre oferta e demanda hídrica na bacia do rio Gramame – PB**. 2013. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Pombal - PB, 2013.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de Águas**. Disciplina Jurídica das Águas Doces, 3ª. Ed. São Paulo: Atlas, 2013.

GUDER, R. **Otimização de portfólios de contratos de energia elétrica utilizando Algoritmos genéticos multiobjetivo**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis - SC, 2009.

GUIMARÃES, T. S. M. **Apoio à síntese de modelos estruturais de software orientado a objetos utilizando algoritmos genéticos co-evolucionários**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2005.

HARRIS, N. M.; GURNELL, A. M.; HANNAH, D. M.; PETTS, G. E. **Classification of river regimes: a context for hydroecology**. In: John Wiley & Songs: Hydrological Processes. v. 14. p. 2831-2848, 2000.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE– INEA. **Outorga de direito de uso dos recursos hídricos** --- Rio de Janeiro, 2010.

LANNA, A. E. L. **Texto de Referência da Disciplina Economia dos Recursos Hídricos: HIDP – 04**. Porto Alegre: Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas UFRGS, 2001.

_____. **Água boa para todos – Como obtê-la?** In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Curitiba.- PR, 2003.

LEÃO, J. de C. **Metodologia para outorga de uso das águas reservadas em regiões semi-áridas aplicada à bacia do Canindé-PI**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí – UFPI, Teresina – PI, 2008.

LEITE, A. A. L.; et al. **Evolução das outorgas no estado do Maranhão, Brasil, no período de 2008 a 2012**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves-RS, 2013.

LEMOS, R.S & ROCHA, R.M.L. **os processos de outorga de direito de uso de Recursos Hídricos em Minas Gerais: uma releitura a partir da Experiência do comitê da bacia hidrográfica do rio das Velhas**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves-RS, 2013.

LIMA, G. et al. **Critérios técnicos para outorga de direito de uso de recursos hídricos**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos: Uma importante ferramenta da Inteligência Computacional**. Rio de Janeiro: Editora: Brasport Livros e Multimídia Ltda. 2006

LIRA, N. B. **Relação entre a precipitação pluviométrica e a qualidade de água da bacia do rio Gramame**. 2011. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB/DECA, João Pessoa, 2011.

LUCENA, D. V. de. **Algoritmos Evolutivos Multiobjetivo para Seleção de Variáveis em Problemas de Calibração Multivariada**. 2013. 50 f. Dissertação (Mestrado em Computação) - Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia – Goiás, 2013.

MACHADO, E. C. M. N. **Operação de redes de escoamento de petróleo utilizando algoritmo genético multi-objetivo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)- Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, 2006.

_____. **Metodologia multiobjetivo para alocação de vazão excedente em bacias hidrográficas**. 2011. 131f.Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, 2011.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeográfica**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MAIA, J. L. **Estabelecimento de Vazões de Outorga na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, com a utilização de sazonalidade**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia)– Universidade Federal de Itajubá – UFI, Itajubá, 2003.

MARANHÃO. **DECRETO Nº 27.841, DE 18 DE NOVEMBRO DE 2011.** Regulamenta a Lei nº 8.149, de 15 de junho de 2004, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, com relação às águas superficiais, e dá outras providências. Diário Oficial. 18 de nov. 2011. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/32509158/doema-executivo-18-11-2011-pg-8>. Acesso em: 10 jan. 2014.

MEDEIROS, M. J. **Avaliação da vazão referencial como critério de outorga dos direitos de usos das águas na bacia do rio Paraopeba.** 2000. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio-Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000.

MENDES, L. A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência.** 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da – USP, São Paulo, 2007.

MIRANDA, H. de P. **Gestão de recursos hídricos nos planos diretores municipais: proposta de subsídios técnicos, participação coletiva e gestão pública inteligente em Rio Pomba - MG.** 2010. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa - MG, 2010.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: Sistema integrado para otimização da outorga de uso de água.** 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa - MG, 2006.

MOREIRA, M. C; et al. **Índices para Identificação de Conflitos pelo Uso da Água: Proposição Metodológica e Estudo de Caso.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 17 n.3, 2012.

MOREIRA, R. M. **Alocação de recursos hídricos em regiões semiáridas.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

NOGUEIRA, G. M. F. **Processo decisório de alocação negociada de água na bacia hidrográfica do Rio Gramame - PB em ambiente simulado.** Projeto de Extensão. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, 2010.

OLAZAR, M. R. R. **Algoritmos evolucionários multiobjetivo para alinhamento múltiplo de sequências biológicas.** 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2007.

OLIVEIRA, M. de J. L. de; Luna, R. M. **O papel da alocação negociada de água na solução de conflitos em recursos hídricos: o caso do conflito pelo uso da água do açude Santo Antônio de Aracatiaçu – CE.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves- RS, 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA - FAO. **Produire suffisamment de nourriture avec des disponibilités d'eau limitées.** Disponível em: <<http://www.fao.org/worldfoodsummit/french/newsroom/news/6880-fr.html>>. Acesso 20/01/2013.

PEIXINHO, F. C. **Aplicação dos Instrumentos de Gestão, da Política Nacional de Recursos Hídricos, na Bacia do Rio Paraíba do Sul.** 2005. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Análise e Avaliação Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC, Rio de Janeiro - RJ, 2005.

PEREIRA, L. A. **Regionalização de vazões de permanência aplicada na região hidrográfica do Uruguai utilizando o programa SisCoRV.** 2012. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo -, 2012.

PORTO, R. L. L. et al. **Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos.** In: Silva, R. C. V. (Org.). Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 6. ABRH, ed. UFRGS, p. 93 – 240. Porto Alegre – RS, 2003.

PORTO. M. F. A.; PORTO. R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas.** Estudos avançados, v. 22, n. 63, 2008.

PROPOSTA DE INSTITUIÇÃO DO COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRAFICAS DO LITORAL SUL-CBH-LS, **Conforme Resolução nº 1, de 31 de agosto de 2003,** do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba.

QUINZANI, C. M. **Otimização Multiobjetivo de portfólios utilizando algoritmos evolutivos.** 2010. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas – SP, 2010.

RAMOS, M. **Gestão de recursos hídricos e cobrança pelo uso da água.** 2007. 61 f. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, RJ, 2007. Disponível em <http://www.eclac.org/dmaah/noticias/paginas/9/28579/Cobrancapelousoda.pdf>. Acesso em 15 jan. 2014.

RAMOS, P. R. **Modelo para outorga de uso da água utilizando a metodologia multicritério de apoio à decisão: estudo de caso da Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Sul.** 2005. 260 f. Tese (Doutorado em Engenharia da produção; Gestão Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – Santa Catarina, 2005.

RAVANELLO, M. M. **Análise Técnica, Legal e Social para Subsídios à Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí – RS.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Santa Maria, RS, 2007.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. **Instrumentos Regulatórios e Econômicos-aplicabilidade à Gestão das Águas e á Bacia do Rio Pirapama, PE.** RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, porto Alegre, v.6, n4, p.41-70. 2001.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso.** 2000. 200 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e

Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2000.

ROBERTO, A. N. **Modelos de rede de fluxo para alocação da água entre múltiplos usos em uma Bacia Hidrográfica**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP, 2002.

RODRIGUES, A. C. L.; BARBOSA, D. L.; FREIRE, P. K. C.; CURI, R. C. & CURI, W. F. **Um estudo sobre outorga do uso da água**. Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Gravatá – PE, 2006.

SANTA CATARINA. **LEI Nº 14.675, de 13 de abril de 2009**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Disponível em: http://www.famato.org.br/site/arquivos/JULIANA_MALTA.pdf. Acesso: 10 jan. 2014.

SANTOS, B. B., et al. **Avaliação da disponibilidade hídrica para concessão de outorgas baseada em vazões mínimas de referência**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2012.

SANTOS, R. B. **Avaliação de intervenções hidráulicas na bacia do rio Gramame - PB com o uso das técnicas de análise multiobjetivo e multicriterial**. 2009.171 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

SANTOS, V. da S. **Modelo de otimização quali-quantitativo multiobjetivo para o planejamento dos recursos hídricos superficiais, com Aplicação à bacia do rio Paraíba**. 2011. 165 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB, 2011.

SCHARDONG, A. **Aplicação de Algoritmos evolucionários à gestão de integrada de sistemas de recursos hídricos**. 2011. 181 f. Tese (doutorado em Engenharia Civil; Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP, 2011.

SEMARH – SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E MINERAIS DA PARAÍBA. **Plano diretor de recursos hídricos da Bacia do rio Gramame**. João Pessoa – PB: Governo do Estado da Paraíba, SEMARH, 2000.

SETTI, A.A; et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**; 2ª edição Brasília, 2001.

SHAO, Q.; CHEN Y. D.; ZHANG, L. **An extension of three-parameter Burr III distribution for low-flow frequency analysis**. Computational Statistics & Data Analysis, 1304-1314, 2008.

SILVA, A. M. et al. **Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 374-380, 2006.

SILVA, D. C. da; et al. **Diagnóstico institucional da alocação negociada de água no estado do Ceará à luz do framework de Elinor Ostrom**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves- RS, 2013.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. **Planejamento e gestão integrados dos recursos hídricos**. Brasília – DF:MM/SRH/ABEAS/UFV, 2001.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. **Outorga de direito de uso de recurso hídricos: uma das possíveis abordagens**. In: Machado, C. J. S. (Org): Gestão de Águas Doces. 1ª edição, Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, p. 134-178. 2004.

SIMÕES, M. S. **Potencial poluidor das indústrias na Bacia do Rio Gramame – Riacho Mussuré**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. João Pessoa – PB: Universidade Federal da Paraíba, 2012.

SOUZA FILHO, F. A. **Alocação de Água Sazonal e Anual: modelos matemáticos, experimentação comportamental e justiça alocativa**. Tese doutoramento, USP, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre – RS: Editora da UFRGS, ABRH, 2000.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

VIEIRA, Z. M. C. L. **Metodologia de análise de conflitos na implantação de medidas de gestão da demanda de água**. 2008. Tese (doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande–UFCG, Campina Grande – PB, 2008.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos** – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

ZITZLER, E.; LAUMANN, M.; THIELE, L. **SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm**. Technical report 103, Zürich, Switzerland: Computer Engineering and Network Laboratory (TIK), Swiss Federal Institute of Technology (ETH), 2001.