

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA BARRAGEM DE JUCAZINHO EM SURUBIM-PE

Ana Carine de Melo Silva¹

Virgínia da Costa Brito²

Cícero Fellipe Diniz de Santana³

Felipe Alves de Lima⁴

RESUMO

O acréscimo das demandas hídricas das cidades, geradas pelo crescimento populacional, associados a degradação ambiental, perdas nos sistemas de abastecimento de água, baixos índices pluviométricos e falhas nos sistemas de gestão, têm resultado em crises hídricas no país, requerendo dos responsáveis pelos sistemas de abastecimento de água, técnicas capazes de sanar os problemas com o déficit hídrico, de modo que o uso e a preservação do recurso ocorram de maneira regular. Desta forma, o presente trabalho objetivou otimizar a distribuição de água e verificar o consumo nas cidades abastecidas pelo Sistema de Abastecimento de Água da Barragem de Jucazinho - SAABJ. A Barragem de Jucazinho está localizada na cidade de Surubim-PE, as margens do Rio Capibaribe, este sistema é responsável pelo abastecimento de 15 municípios do agreste pernambucano. A otimização do SAABJ foi realizada utilizando programação linear, por meio do método SIMPLEX. foi constatado que o sistema em estudo, funcionando sob as condições de restrição dos regime de atendimento impostas, tem sido ineficiente para atender hidricamente os municípios de sua responsabilidade. para que o sistema funcione de maneira eficiente, regular e otimizada, as localidades da zona rural de 6 municípios não podem ser atendidas pelo mesmo, e referente a zona urbana, deve-se haver uma redução de 98,09% no valor de vazão destinado a cidade de Caruaru, o que evidencia a situação crítica de atendimento destas demandas apenas por esta fonte hídrica.

Palavras-chave: Gestão dos recursos hídricos, Distribuição de água, Demanda hídrica.

INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais, a água foi um elemento considerado em tempos remotos e de cenários hídricos com maior disponibilidade, como um elemento infinito, mas que atualmente possui maior importância como um elemento fundamental à vida, geograficamente

¹Graduada pelo curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Vale do Ipojuca - UNIFA VIP|Wyden, carinemelo01@gmail.com;

²Mestre pelo curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, virginia.dcb@gmail.com;

³Doutorando pelo curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, cicero.esa@hotmail.com

⁴Graduado pelo curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Vale do Ipojuca - UNIFA VIP|Wyden, felipealves1909@gmail.com

restrito e um bem econômico valorizado no mercado. A água para abastecimento humano está cada vez mais rara em todo o mundo, até mesmo em regiões abundantes em termos de disponibilidade hídrica (SOUZA, 2013). Como forma de controle da distribuição adequada de água, a fim de atender ao direito humano essencial de acesso a água potável, definido pela Organização das Nações Unidas (ONU), tem-se os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), que objetivam distribuir água nos padrões exigidos para fins de consumo domésticos, industriais e demais atividades desenvolvidas nas localidades (DUARTE, 2016).

Contudo, devido ao crescimento populacional e desenvolvimento das cidades, gerando uma crescente demanda por água, aliados a intensificada degradação ambiental, uso irracional da água e perdas, os SAA têm sido danificados, chegando a estados de ineficiência (SOBRINHO; BORJA, 2016). Pode-se considerar ainda como fatores contribuintes, as reduções nos índices pluviométricos anuais e as características climáticas das regiões brasileiras (SILVA et al., 2013).

Como forma de controle e uso racional dos recursos hídricos dentre as adversidades existentes, a otimização destaca-se por ser uma metodologia que possibilita a obtenção da melhor solução que garante o nível mínimo de água para o consumo humano e animal, além de suprir as necessidades das atividades relacionadas aos aspectos econômicos e ao desenvolvimento das regiões.

Assim, inserido nesse contexto introdutório, referente a crises hídricas e lapsos quanto a distribuição de água, tem-se o Sistema de Abastecimento de Água da Barragem de Jucazinho (SAABJ), este sistema tem enfrentado adversidades quanto ao acúmulo de água em seu reservatório e na distribuição regular de água entre os municípios de sua responsabilidade.

Proveniente da busca por soluções referente ao sistema citado, este trabalho objetivou otimizar o consumo e a distribuição de água tratada dos municípios atendidos pelo reservatório de Jucazinho, a fim de minimizar as perdas e maximizar a eficiência do sistema e a alocação do recurso hídrico. Pode-se destacar através deste estudo, que a determinação de uma hierarquização no abastecimento de água de acordo com as necessidades e prioridades das cidades, o balanceamento na distribuição e a otimização do recurso hídrico, bem como dos processos envolvidos no SAA, se usados dentro do planejamento e gestão das bacias hidrográficas podem contribuir para o desenvolvimento satisfatório e regular do sistema da barragem de Jucazinho. Afetando de forma positiva as áreas econômicas, ambientais e sociais.

Para a otimização do SAABJ, foi utilizada a programação linear, com a aplicação do método SIMPLEX. Com o resultado da otimização, se observou que este sistema, sob as

condições impostas mostra-se ineficiente para atender aos 15 municípios de sua responsabilidade, principalmente às zonas rurais de 6 cidades e à zona urbana de Caruaru - PE.

METODOLOGIA

Barragem de Jucazinho

A natureza aplicada, de abordagem quantitativa, engloba a preocupação com a geração de uma base de dados confiáveis sobre o SAABJ, ao mesmo passo em que reúne informações úteis para o processo de otimização por meio da aplicação prática. Os objetivos exploratórios da pesquisa beneficiam a busca por soluções e novas hipóteses e objetivos.

O universo da pesquisa foi a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, possuindo como amostra a barragem de Jucazinho e as 15 cidades abastecidas por esse SAA, tendo em vista que a barragem em estudo está inserida na bacia citada.

De acordo com a APAC (Agência Pernambucana de Água e Clima), a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe corresponde a unidade de planejamento hídrico UP2 e está localizada na porção norte-oriental do estado de Pernambuco, com as coordenadas de 07° 41' 20" e 08° 19' 30" de latitude sul, e 34° 51' 00" e 36° 41' 58" de longitude oeste.

A bacia possui uma área de abrangência de 7.454,88 km², o equivalente a 7,58% do estado e abrange uma totalidade de 42 municípios do estado de Pernambuco, dentre esses alguns estão totalmente inseridos na bacia, outros apenas parcialmente e alguns com sede na mesma.

De acordo com o documento emitido pelo Tribunal de Contas da União (TCU), a barragem de Jucazinho fica situada no município de Surubim no estado de Pernambuco, as margens do Rio Capibaribe, o qual é represado pela barragem. Possui uma distância média da capital do estado, Recife, de 120 km. A mesma foi inaugurada no ano 2000.

De acordo com a Compesa (2017), a barragem possui uma capacidade total de reserva de 327 milhões de m³, é responsável pelo abastecimento de 15 cidades do estado, que são elas: Santa Cruz do Capibaribe, Riacho das Almas, Cumaru, Passira, Salgadinho, Casinhas, Surubim, Vertentes, Vertente do Lério, Santa Maria do Cambucá, Frei Miguelinho, Toritama, Caruaru, Bezerros e Gravatá, além de diversos distritos e povoados dos 15 municípios que fazem parte do sistema integrado. Sua capacidade de produção é de 1.300 l/s, atendendo a uma população de aproximadamente 800 mil pessoas ao longo de seus 206 quilômetros de adutoras.

Pedrosa (2015), afirma ainda que o SAABJ se distribui por duas linhas principais, que são elas, tramo norte e tramo sul. O tramo norte é responsável pelo abastecimento dos municípios de Salgadinho, Casinhas, Surubim, Vertente do Lério, Santa Maria do Cambucá, Frei Miguelinho, Vertentes, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe. Enquanto o tramo sul abastece às cidades de Cumaru, Passira, Gravatá, Bezerros, Riacho das Almas e Caruaru (GOMES, 2010). A Figura 1 expõe uma imagem de satélite acerca da interligação entre os municípios abastecidos pelo SAABJ.

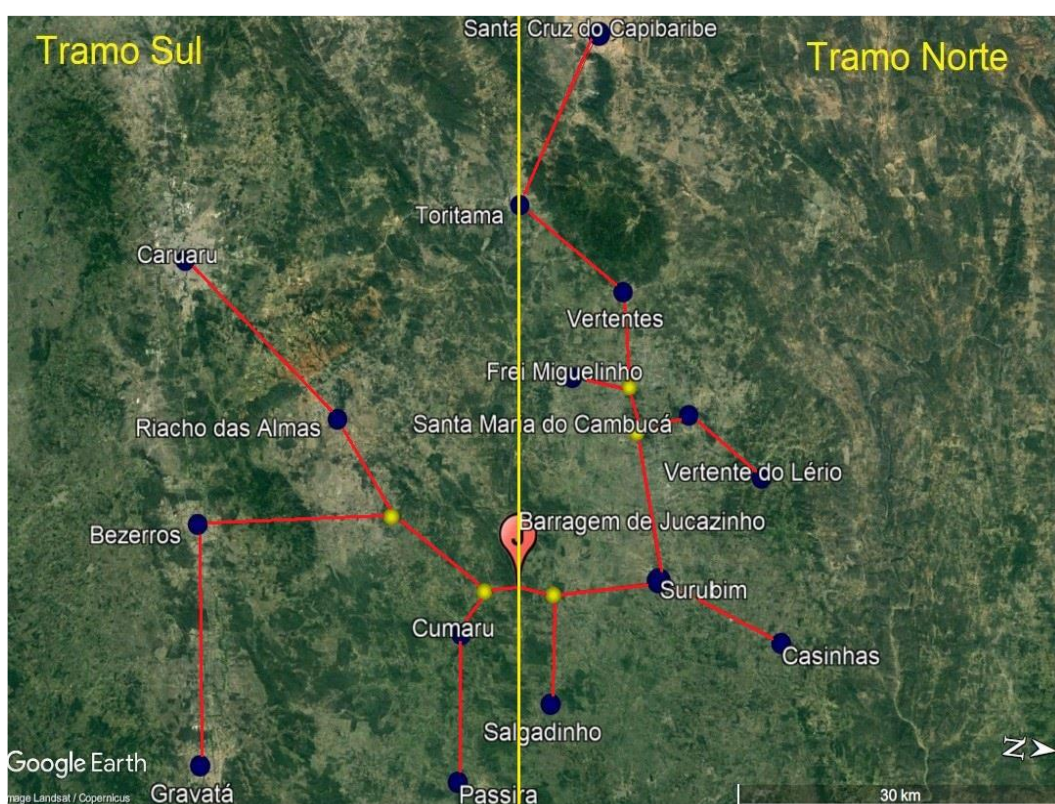


Figura 1 – Imagem de satélite da interligação entre cidades do SAABJ
Fonte: Autores, 2018.

Por conseguinte a Figura 2 apresenta a esquematização do SAABJ e a distribuição da água que é efetuada a partir da barragem, expondo os nós e bifurcações.

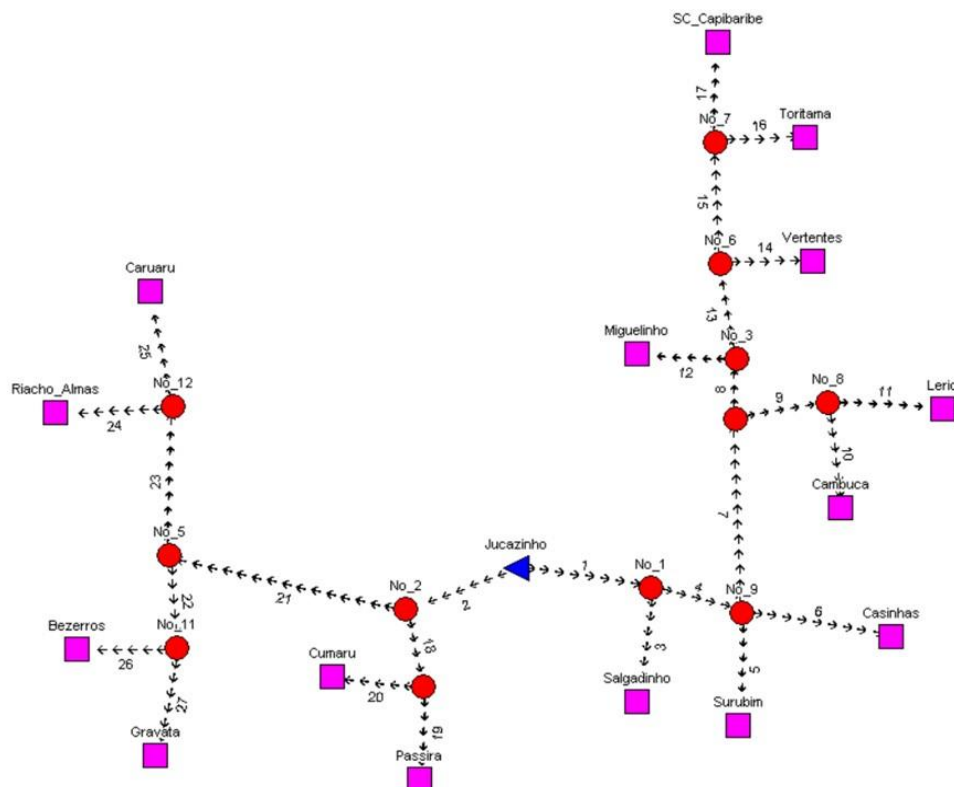


Figura 2 – Esquemática do SAABJ
Fonte: Autores, 2018.

Otimização – Método SIMPLEX

O método SIMPLEX é um método iterativo, que determina numericamente a solução ótima de um modelo de programação linear (MANSILHA; FARRET; KULLMANN, 2017). A partir de uma solução básica inicial, escolhe outras soluções para teste, tornando o percurso até a solução ótima, mais curto (SILVA, 2016).

De acordo com Mansilha, Farret e Kullmann (2017), para possível solução do problema, ele deve estar escrito na forma padrão e sujeito a algumas restrições, de acordo com o formato matricial. O formato padrão de um problema de programação linear, escrito em formato matricial, resulta em uma apresentação mais compacta.

A Figura 3, mostra a sequência de passos seguida para utilização do método SIMPLEX, no presente estudo.

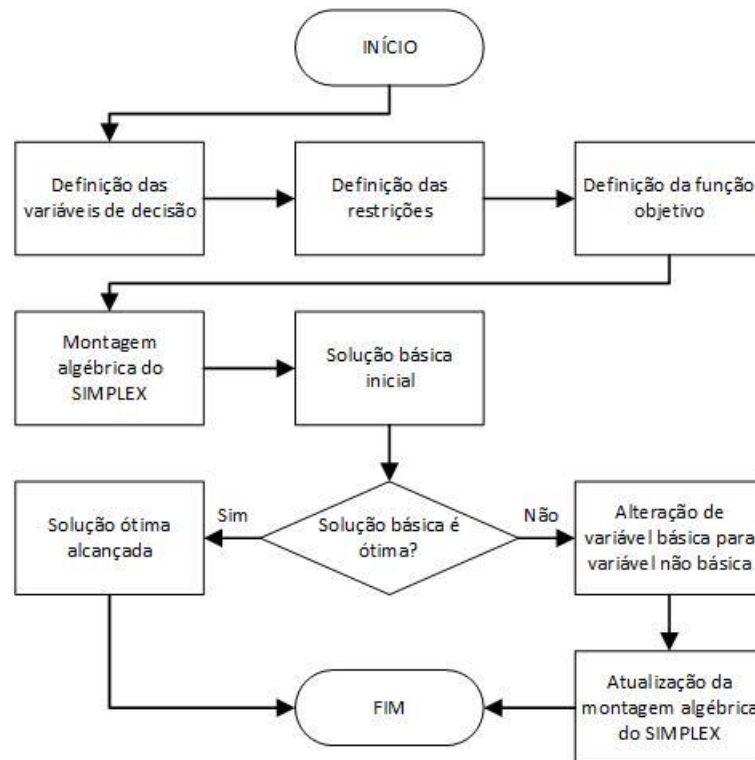


Figura 3 – Fluxograma do método SIMPLEX

Fonte: Autores, 2018.

Para aplicação do SIMPLEX no presente estudo, foram obtidas as variáveis necessárias ao mesmo. Foi realizado um levantamento das cidades abastecidas pelo reservatório de Jucazinho e verificado o consumo total de água por ano das cidades, através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Tendo em vista que o SNIS possui uma defasagem de 2 anos, foi possível obter o consumo de água referente ao ano de 2016. Posteriormente, a partir do último censo demográfico realizado pelo IBGE, no ano de 2010, obteve-se o quantitativo populacional total, urbano e rural das cidades. A partir desses dados foi calculada a equivalência da população urbana em relação a total, e a equivalência da população rural em relação a total e posteriormente o consumo de água parcial das cidades em m^3/s , o consumo de água referente a ambas populações.

Com a obtenção dos volumes parciais de água consumidos de cada cidade, foi atribuída uma prioridade ao atendimento de água no valor de 100% para área urbana e um valor de prioridade de 50% para área rural. Ao considerar que a zona rural pode ser abastecida através de fontes alternativas, esta atribuição foi de fundamental importância para a aplicação do método. Para complementar os dados necessários a aplicação, foram adquiridos dados referentes as vazões destinadas às cidades a partir do reservatório, obtidos junto à Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). Conforme os dados, cidades de maior porte e

demanda, como Surubim e Caruaru, recebiam um valor aproximado de vazão entre 60 a 80 L/s, enquanto as demais cidades do Tramo Norte e do Tramo Sul, não excediam 10 L/s. Por convenção, as demandas atribuídas para Caruaru e Surubim, foram as vazões de 80 L/s respectivamente, enquanto as demais cidades, receberam 9 L/s.

Formulação da função objetivo e das restrições

Para a aplicação do método SIMPLEX foram necessárias as formulações das variáveis de decisão, das restrições e da função objetivo. A função objetivo, foi obtida a partir da análise do SAABJ, foi verificado o percurso do abastecimento até as demandas para analisar a ordem em que os municípios são atendidos.

A função objetivo foi de maximização e está sendo representada pela equação 1. Deve-se ressaltar que, a justificativa para os valores numéricos (10 e 5) utilizados, é devido a hierarquização criada na distribuição de água entre os municípios, sendo o valor 10 atribuído a população urbana, e o valor 5 a população rural. Todas equações e resoluções referentes ao método foram formuladas e solucionadas em ambiente Microsoft Excel, utilizando a ferramenta Solver. Deve-se destacar que as siglas C1, C2, C3, ..., Cn, referem-se às cidades, N1, N2, N3, ..., Nn, aos nós, enquanto que as letras U e R, à urbana e rural, respectivamente.

$$\begin{aligned} \text{Máx } Z = & 10X4-C1U + 5X4-C1R + 10X5-C2U + 5X5-C2R + 10X7-C3U + 5X7-C3R + \\ & 10X8-C4U + 5X8-C4R + 10X9-C5U + 5X9-C5R + 10X10-C6U + 5X10-C6R + 10X11-C7U \\ & + 5X11-C7R + 10X12-C8U + 5X12-C8R + 10X13-C9U + 5X13-C9R + 10X15-C10U + \\ & 5X15-C10R + 10X16-C11U + 5X16-C11R + 10X18-C12U + 5X18-C12R + 10X19-C13U + \\ & 5X19-C13R + 10X20-C14U + 10X20-C14R + 10X21-C15U + 5X21-C15R \end{aligned} \quad (\text{eq.1})$$

DESENVOLVIMENTO

Em tese, devido ao grande volume de escoamento superficial médio das precipitações naturais ao longo do país, o Brasil não deveria ter desafios relacionados a gestão hídrica. Contudo, esse escoamento não é homogêneo entre as regiões. Dessa forma, em conjunto com a crescente demanda por água para atividades econômicas, para a produção de energia e para o consumo e higiene, associados às mudanças climáticas, a poluição das fontes hídricas, a inexistência da preservação dos mananciais e a ausência de conscientização quanto ao uso

adequado e sem desperdícios, têm gerado déficits na distribuição e disponibilidade do recurso hídrico no país (PINTO, 2015).

Na região Nordeste, as características naturais, com altas temperaturas, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração, fazem com que a região sofra com a baixa disponibilidade hídrica (BRAZÃO; SILVA, 2016). De acordo com Silva, Ferreira e Santos (2017), sabe-se ainda que a região é tradicionalmente afetada por secas prolongadas seguidas de inundações provocadas pelo caráter torrencial e concentrado das chuvas.

Desta forma, para controlar a distribuição hídrica, nos municípios da região, são construídos os SAA, seus materiais e equipamentos, destinados a produção e distribuição de água potável para as populações (PEREIRA, 2017).

Contudo, um fator crítico que envolve os SAA no Brasil é o percentual de perdas, pois o país apresenta níveis elevados na distribuição. Os principais motivos são a depreciação das tubulações, bem como a falta de uma política que vise a modernização dos sistemas existentes (DIEESE, 2016).

Inserido no contexto de perdas e conflitos entre demandas e disponibilidades hídricas nos diversos usos da água, os modelos de otimização são ferramentas que promovem o melhor atendimento as demandas e redução das perdas econômicas. Através da otimização, também é possível se obter um melhor uso dos recursos hídricos disponíveis e a redução dos prejuízos advindos da escassez de água (MATTIUZI, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resposta do método SIMPLEX, foram emitidos os relatórios de resposta e sensibilidade para análise e discussão dos dados. Assim, após a resolução do modelo, foi possível obter os valores das variáveis de decisão e o valor da função objetivo. Estes resultados estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores das variáveis de decisão e da função objetivo

Cumaru	C1U	2,50E-03	Caruaru	C6U	2,84E-01	Vertente do Lério	C11U	7,40E-05
	C1R	2,85E-03		C6R	3,58E-02		C11R	2,47E-04
Passira	C2U	3,44E-03	Salgadinho	C7U	2,96E-04	Frei Miguelinho	C12U	4,05E-04
	C2R	3,62E-03		C7R	6,03E-04		C12R	1,30E-03
Bezerros	C3U	4,29E-02	Surubim	C8U	2,75E-02	Vertentes	C13U	2,90E-03
	C3R	7,70E-03		C8R	9,03E-03		C13R	1,18E-03
Gravatá	C4U	1,03E-01	Casinhas	C9U	9,82E-05	Toritama	C14U	1,06E-02
	C4R	1,21E-02		C9R	6,95E-04		C14R	4,45E-04
Riacho	C5U	3,05E-03	Santa Maria do Cambucá	C10U	5,12E-04	Santa Cruz do Capibaribe	C15U	2,69E-02
	C5R	3,62E-03		C10R	1,52E-03		C15R	6,25E-04

Fonte: Autores, 2018.

O relatório de Resposta indicou os valores finais e originais da função objetivo, os quais não variaram. Através desse relatório também foi possível identificar em quais cidades e pontos as condições não foram satisfeitas, enquanto o relatório de Sensibilidade, foi possível analisar numericamente estes pontos, o que permitiu uma melhor interpretação do resultado.

Ao interpretar o relatório de resposta, pôde-se observar que as condições não foram satisfeitas em 7 pontos, já na análise do relatório de sensibilidade, notou-se que o SAABJ, trabalhando sob as condições reais e impostas pelo estudo, necessita restringir a distribuição de água nas localidades em que os valores de vazão requeridos não foram atendidos para que Jucazinho funcione de maneira otimizada.

Os pontos em que as condições não foram satisfeitas, foram as áreas rurais de Cumaru, Passira, Bezerros, Gravatá, Riacho das Almas e Caruaru, e a área urbana de Caruaru, sendo essa, a única área urbana que não foi atendida. As sedes citadas, nos quais os valores de vazão não foram alcançados, compõem o Tramo Sul, o que significa que nenhum município pertencente ao Tramo Sul está sendo suficientemente atendido em termos hídricos a partir do reservatório de Jucazinho. Enquanto que no Tramo Norte, a situação é divergente, uma vez que todas as circunstâncias sucederam satisfatoriamente, o que indica que o reservatório satisfaz as demandas da população urbana e rural das cidades de Salgadinho, Casinhas, Surubim, Vertente do Lério, Santa Maria do Cambucá, Frei Miguelinho, Vertentes, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe.

Deve-se destacar que o número de habitantes do Tramo Sul é superior a do Tramo Norte, embora o Tramo Norte contabilize um total de 9 cidades, e o Tramo Sul apenas 6. Todavia, o quantitativo populacional do Tramo Sul é o equivalente a aproximadamente o dobro do Tramo Norte, o último contabilizando apenas 258.138 habitantes e o Tramo Sul 515.011 habitantes. O que pode ser indicado como uma das justificativa para os resultados, é que o funcionamento

eficiente do sistema depende não retirada da oferta enviada para as áreas rurais dos municípios de Cumaru, Passira, Bezerros, Gravatá, Riacho das Almas e Caruaru, estão relacionados aos altos valores de demanda ou então a necessidade de aumento no suprimento do SAA por outra fonte, tendo em vista que os valores obtidos para a solução ótima iguais a zero, e não, os valores impostos como limites, calculados pela equivalência das populações e dos consumos de água extraídos do SNIS.

Portanto, apenas o reservatório de Jucazinho, nas condições impostas, não é suficiente para atender as demandas rurais das cidades do Tramo Sul, pois o atendimento aos valores de vazão impostos, não fizeram parte da solução ótima obtida com a otimização do SAABJ, significando que essas áreas necessitam de uma fonte de abastecimento alternativa.

Em relação ao atendimento à população urbana da cidade de Caruaru, o valor de vazão que pode ser distribuído de acordo com a solução ótima, é de 0,005425 m³/s, enquanto que o valor requerido é de 0,283685 m³/s, ou seja, para que o sistema trabalhe corretamente, se faz necessário uma redução de 0,27826 m³/s no valor de vazão distribuído para esse município, o equivalente a uma redução de 98,09%. O valor que pode ser distribuído pelo reservatório de Jucazinho é significativamente inferior ao solicitado, representa apenas 1,91% do valor total de vazão requerido pela zona urbana.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi verificado que o sistema sob condições reais, com uma vazão de 160 L/s, é capaz de atender a 100% do consumo total de água de 9 municípios, e ao consumo unicamente urbano de 6, apenas com uma redução de 98,09% para Caruaru, mostrando um déficit no atendimento às zonas rurais das cidades que compõem o Tramo Sul, não sendo capaz de enviar nenhum valor de vazão para estes locais. Sob estas condições, o SAABJ é otimizado, com um funcionamento mais eficaz do que o atual e com riscos menores de colapso, pois os valores que serão distribuídos, serão coerentes com a disponibilidade e capacidade do reservatório, porém é de grande importância destacar, que essa disponibilidade está prioritariamente relacionada aos índices pluviométricos da região.

Deve-se ressaltar que as variáveis de vazão consideradas para a realização da otimização, foram teóricas, não foram com uma base de dados de medida e quantificação em loco, o que influencia nos resultados, principalmente em relação a zona rural, a área mais afetada. Dessa forma, pode-se indicar como solução eficaz para as áreas rurais das cidades do

Tramo Sul, a implantação de um SAA integrado ao de Jucazinho, além de uma solução mediadora como a utilização de poços de extração de água. Como proposta para trabalhos futuros, uma maior pesquisa e preocupação referente as vazões, o melhor detalhamento da rede do SAA e a consideração do valor da vazão regularizada do rio Capibaribe, para a realização da otimização e obtenção de valores de maior precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Bacias Hidrográficas – Bacia do Capibaribe**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=14>. Acesso em: 15 de set. 2018.

BRAZÃO, A. J. C.; SILVA, R. D. R. **Cenário do reuso de água no Nordeste brasileiro: estudos de casos e desafios**. Rio Grande do Norte, 2016.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. **Barragem de Jucazinho**. Disponível em: <<https://servicos.compesa.com.br/barragem-de-jucazinho-continuasem-acumular-agua/>>. Acesso em: 15 de ago. 2018.

DIEESE – Departamento Intersindical de Estatística e Estudos socioeconômicos. **Visão geral dos serviços de água e esgotamento sanitário no Brasil**. Estudos e pesquisas, n° 82. Pernambuco, 2016.

DUARTE, B. E. S. **Os sistemas de abastecimento d'água da grande João Pessoa e a espacialização das áreas abastecidas**. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2016.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de Saneamento – Eficiência energética**. Ed 1, Editora Universitária/UFPB. Paraíba, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo demográfico 2010 Pernambuco**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=26&dados=8>>. Acesso em: 28 de set. 2018.

MANSILHA, M. B.; FARRET, F. A.; KULLMANN, D. H. Programação linear: método de otimização simplex e software OTIMIZA. **Revista ESPACIOS**, Vol. 38, N° 60, 2017.

MATTIUZI, C. D. P. **Gestão integrada dos recursos hídricos: alocação otimizada com uso conjunto de água superficial e subterrânea para redução da escassez hídrica na Bacia Do Rio Santa Maria/RS**. 93 f. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2018.

PEDROSA, H. T. S. **Otimização em estação elevatória de sistemas de abastecimento de água buscando a eficiência energética.** 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2015.

PEREIRA, L. S. **Abordagem multicritério para estabelecimento de prioridades gerenciais/comerciais para manutenção em sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea.** 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2017.

PINTO, H. S. **A crise hídrica brasileira no contexto do plano para a segurança alimentar, nutrição e erradicação da fome 2025 da CELAC.** Brasília, 2015.

SILVA, B. O.; FERREIRA, J. G.; SANTOS, R. T. L. **Dimensões da Governança da Água no Nordeste Brasileiro.** Rio Grande do Norte, 2017.

SILVA, D. C. et al. Gestão de recursos hídricos no Brasil e interdisciplinaridade: Uma reflexão em torno de apontamentos contemporâneos desta relação. **Revista Espacios**, v.38, n.1, 2017.

SILVA, S. F. et al. Avaliação da ocorrência de secas na Bahia utilizando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). **Bahia anál. dados**, Salvador, v. 23, n. 2, p.461473, abr./jun. 2013.

SOBRINHO, R. A.; BORJA, P. C. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. **Eng Sanit Ambient**, v.21, n.4, out/dez 2016, 783-795.

SOUZA, L. M. **Gestão de Recursos Hídricos: Metodologias de Participação Social.** Minas Gerais, 2013.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série Histórica – Água e esgoto.** Disponível em:< <http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 28 de set. 2018.

TCU – Tribunal de Contas da União. **Relatório de auditoria - Obras paralisadas da Barragem de Jucazinho e das Barragens de Serrinha e Adutora do Oeste em Pernambuco.** Brasília, 2000.