



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

Otimização de um sistema adutor pelo Método Granados

BRUNO MARTINS VALE DE LUCENA AMARANT

Natal - RN

2016

BRUNO MARTINS VALE DE LUCENA AMARANT

Otimização de um sistema adutor pelo Método Granados

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Lucas Filho
UFRN

**Natal – RN
2016**

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede
Catalogação da Publicação na Fonte

Amarant, Bruno Martins Vale de Lucena.

Otimização de um sistema adutor pelo Método Granados / Bruno Martins Vale de Lucena Amarant. - Natal, 2016.
37 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Lucas Filho.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Abastecimento de água - Dissertação. 2. Sistema adutor - Dissertação. 3. Dimensionamento otimizado - Dissertação.
4. Método de Granados - Dissertação. I. Lucas Filho, Manoel. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628.1

BRUNO MARTINS VALE DE LUCENA AMARANT

Otimização de um sistema adutor pelo Método Granados

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Abner Guimarães Júnior
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Prof. Dr. Jean Leite Tavares
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN

Prof. Dr. Manoel Lucas Filho - Orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

NATAL, 7 de março de 2016.

A minha mãe Josiane que sempre acreditou em minha capacidade e que sempre lutou para me apoiar sob quaisquer dificuldades.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua fidelidade, pela sua presença que me traz paz e confiança e por todas as bênçãos diárias.

A meu orientador, Prof. Dr. Manoel Lucas Filho pela orientação, amizade, reciprocidade, pelo exemplo profissional, pela confiança, pela força, pela motivação, pelo incentivo e compreensão.

Ao Prof. Dr. João Abner Guimarães Junior pelo seu exemplo profissional, pela sugestão do tema, sua importância social, e contribuição.

Ao LARHISA e seus professores, representado pela coordenadora Vanessa, pelos ensinamentos ministrados em sala durante as aulas.

Aos funcionários do LARHISA, representado por Pedro, que contribuíram diretamente para a conclusão deste trabalho.

A CAERN, representado pelo funcionário Nelson, itinerante, que me ajudou no trabalho de campo abdicando-se inclusive do seu tempo de descanso.

A CONISA, representado pelo funcionário Manoel de Frade, que também contribuiu para o trabalho de campo, tornando-o possível e ágil, sempre disponível e atencioso.

Ao IFRN, representado pelo prof. Dr. Jean Leite Tavares e a todos os colegas de trabalho que me incentivaram, pelo apoio, liberações e compreensão ao longo de todo o Mestrado.

Aos colegas de turma de mestrado, pelas amizades, pelo apoio e estímulo para a conclusão do trabalho.

A minha noiva e companheira, Linoara, que me dá força, incentiva, me deu motivos para sorrir e para continuar nesta luta.

Aos amigos, que sempre me acompanharam nas minhas lutas e sempre me deram apoio.

A toda minha Família que sempre esteve do meu lado apoiando e incentivando, dando exemplos de lutas e momentos de descontrações.

A todos aqueles que contribuíram, me deram força e suporte para que eu conseguisse alcançar este objetivo, meus sinceros agradecimentos.

“Se você quer ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si”

(Ayrton Senna)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
APRESENTAÇÃO	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA	6
3. RESULTADOS	14
4. DISCUSSÕES	21
5. CONCLUSÕES	22
6. RECOMENDAÇÕES	23
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mapa de distribuição das adutoras no Rio Grande do Norte	2
Figura 02: Esquema do Método de Granados.....	5
Figura 03: Projeto do sistema adutor Serra de Santana, parte 01	7
Figura 04: Projeto do sistema adutor Serra de Santana, parte 02	8
Figura 05: Projeto do sistema adutor Serra de Santana, parte 03	8
Figura 06: Ligações dos pontos de injeção direta na rede	10
Figura 07: Bombeamento nas estações elevatórias	10
Figura 08: Identificação de diâmetros das tubulações	11
Figura 09: (a) Chafariz nº 60 em Serra do Meio II. (b) Reservatório em Florânia	11
Figura 10: Diagrama de trecho do projeto atualizado	11
Figura 11: Avaliação dos custos comparativos entre as três soluções apresentada	14
Figura 12: Gráfico da otimização da etapa EB1	16
Figura 13: Gráfico da otimização da etapa EB6.....	17
Figura 14: Gráfico da otimização da etapa EB7	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Definição do gradiente de câmbio “C”	12
Tabela 02: Definição da solução prévia	13
Tabela 03: Custos das tubulações EB1	15
Tabela 04: Custos das tubulações EB6	16
Tabela 05: Custos das tubulações EB7	18
Tabela 06: Cotas de cabeceiras adotadas	19
Tabela 07: Resumo das folgas de pressões e ΔH disponível	20

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, sob a orientação do Prof. Dr. Manoel Lucas Filho.

O dimensionamento otimizado de um sistema adutor através do Método de Granados e a otimização do sistema para atendimento a novas demandas é o tema do presente trabalho. A dissertação possui o formato de um artigo científico, contendo resumo, abstract, introdução, metodologia, resultados, discussões, conclusões, recomendações e referências bibliográficas.

Otimização de um sistema adutor pelo Método Granados

RESUMO

O dimensionamento dos sistemas adutores atuais é realizado buscando-se somente os menores custos, o que não garante um sistema otimizado. Diante da complexidade atual para conciliar economia, para implantação e consumo de energia, exigências técnicas, que atendam pressões e vazões e o aumento permanente das demandas de água para abastecimento é necessário a otimização desses sistemas. O método que garante a otimização de um sistema adutor de forma mais econômica é o Sistema de Granados, no qual a partir de uma solução prévia obtém-se um dimensionamento com os menores diâmetros possíveis, capaz de atender os limites de velocidades máximas normatizadas. Porém, com pressões máximas e conseqüentemente com uma elevada cota de cabeceira, a maior possível, requisitando maior energia de bombeamento ou maior cota de reservatório. Em seguida, o método utiliza-se de um processo iterativo no qual redimensionou a rede definida pela solução prévia reduzindo as pressões através do aumento dos diâmetros a partir dos menores custos (gradiente de câmbio), que foi definido pela maior variação de perda de carga e menor variação de custo de tubulação. Esse processo iterativo, limitado pelo custo máximo ou definição da cota de cabeceira definiu o dimensionamento ótimo para a situação desejada. O objetivo deste trabalho foi realizar um dimensionamento otimizado, considerado um aperfeiçoamento, de um sistema adutor já em operação através da viabilidade prática e econômica do Método Granados e a possibilidade deste sistema receber uma ampliação em sua demanda de abastecimento de água, com aumento de vazões ou de pontos de distribuição. O sistema utilizado foi o adutor Serra de Santana, localizado no Rio Grande do Norte e os resultados encontrados com a aplicação do método apresenta um dimensionamento com custos bem inferiores, como esperado, e com considerável melhoria nos fundamentos hidráulicos deste sistema, permitindo o atendimento de novas demandas. O método se confirmou como eficiente, na otimização das variáveis hidráulicas e na viabilidade econômica, apresentando-se como capaz de otimizar um sistema adutor existente permitindo ampliações.

Palavras-chave: abastecimento de água, sistema adutor, dimensionamento otimizado, método de Granados.

Optimization of a pipeline system for Granados method

ABSTRACT

The dimensioning of the current adductor systems is performed only seeking to lower costs, which does not guarantee an optimized system. Given the current complexity to reconcile economy, deployment and energy consumption, technical requirements that meet pressures and flow rates and the permanent increase in water demands for supply optimization of these systems is required. The method ensures the optimization of a pipeline more economically system is the Granados system, which from a previous solution gives a design with the smallest possible diameter, able to meet the limits of standardized speed limits. However, with maximum pressures and consequently with a high headboard quota, the highest possible, requiring higher energy pumping or larger reservoir quota. Then, the method uses an iterative process in which resized the network defined by the previous solution by reducing the pressure by increasing diameters from the smallest cost (exchange gradient), defined by the larger head loss variation and less variation pipe cost. This iterative process, limited by the maximum cost or definition of bedside quota defined the optimum design for the desired situation. The objective of this work was to optimized design, considered a refinement of a pipeline system already in operation through practical and economic feasibility of Granados method and the possibility of this system receives an expansion in its demand for water supply, with increased flow or distribution points. The system used was the adductor Serra de Santana, located in Rio Grande do Norte and the results with the application of the method presents a design with much lower costs, as expected, and considerable improvement in the hydraulic fundamentals of this system, allowing service new demands. The method was confirmed as effective in optimizing hydraulic variables and economic viability, presenting themselves as able to optimize an existing pipeline system allowing magnifications

1. INTRODUÇÃO

A água é um bem indispensável para a boa saúde e o desenvolvimento do ser humano. A própria legislação brasileira garante esse direito. “Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais” (BRASIL, 1997, 1º Art.).

O enquadramento dos corpos d’água em classes segundo os usos visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos a que forem destinadas, diminuir os custos de combate à poluição. As classes de corpos são definidas pela legislação ambiental (BRASIL, 2005)

O Brasil tem enfrentado em várias regiões a escassez de água tanto em quantidade quanto em qualidade adequados às necessidades de toda população, embora haja a preocupação da legislação vigente.

A região Nordeste têm enfrentado a escassez quantitativa, pela ausência de chuvas intensas e regulares e também enfrenta a escassez qualitativa. Na busca por água em quantidade necessária encontram-se soluções que nem sempre possui a qualidade desejada como, por exemplo, através da perfuração de poços que possuem qualidade inadequada.

Alguns estados da região já avançaram em obras ou projetos contra os efeitos da seca, como no caso do Ceará que possui um projeto em execução chamado de “Cinturão da águas”. Essa obra quando finalizada possibilitará que a água circule por várias partes do estado através da integração de sistemas adutores.

A situação de escassez se agrava ao passar dos dias e a situação de extrema falta d’água está deixando de ser uma raridade para ser uma realidade. Essa problemática já fazia parte da realidade do Rio grande do Norte com alguma frequência, mas tem se intensificado com a estiagem prolongada dos últimos anos, provocando desabastecimento de água em vários municípios do estado.

O estado do Rio Grande do Norte já possui uma malha de adutora construída nas últimas décadas e uma outra planejada. Seria interessante que as cidades de maiores populações e conseqüentemente maiores demandas já possuíssem uma integração como alternativa para períodos de seca acentuada.

No ano de 2010, período que antecedeu a seca prolongada dos anos de 2011 a 2015, a Agência Nacional de Águas (ANA) já havia apresentado a situação na qual se encontrava o Sistema de Abastecimento do estado, como exposto abaixo.

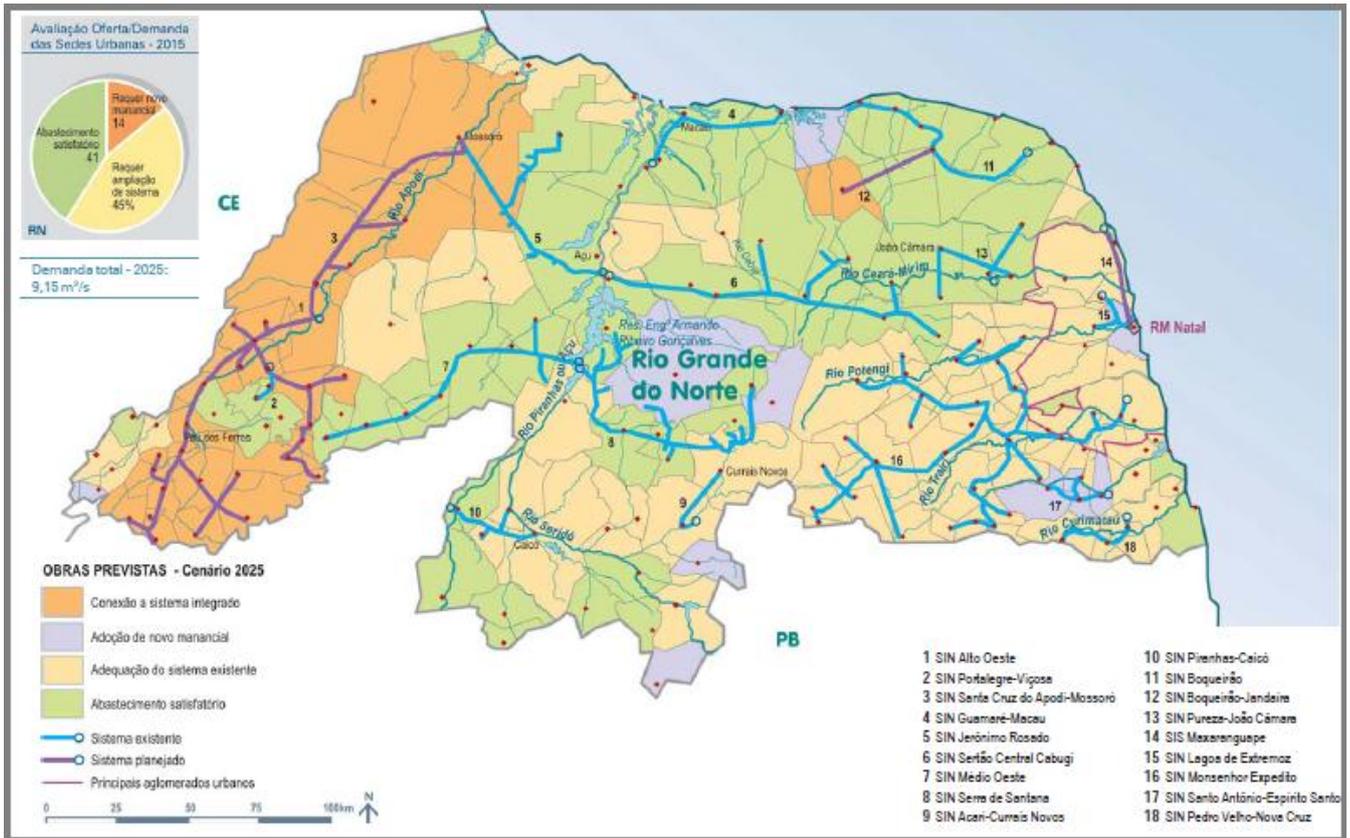


Figura 01 – Mapa de distribuição das adutoras no Rio Grande do Norte. **Fonte:** ANA (2010)

É com a ampliação do sistema adutor existente construindo uma integração dos sistemas de abastecimento de água que se pode enfrentar o problema das estiagens e escassez deste recurso com maior sucesso.

O objetivo deste trabalho é realizar um dimensionamento otimizado, considerado um aperfeiçoamento, de um sistema adutor já em operação através da viabilidade prática e econômica do Método Granados. A partir dessa otimização busca-se levantar os gastos gerados com possíveis alterações de diâmetros aliados a uma considerável melhoria nos fundamentos hidráulicos deste sistema adutor, permitindo o atendimento de novas demandas, sejam elas por aumento de vazões ou para criar novos pontos de distribuição.

Comumente nos projetos hidráulicos de um sistema adutor as maiores preocupações são com os requisitos técnicos, segurança e o custo global do sistema.

Portanto, é uma preocupação do engenheiro responsável garantir a maior redução dos custos referentes a tubulação, garantindo sempre a técnica e segurança requisitadas. Para atingir os diâmetros internos mínimos usam-se métodos tradicionais, regidos por Hazen-Williams, Manning, entre outros, que atendam sempre às velocidades máximas permitidas e às pressões máximas.

O grande desafio para o projetista é atingir o dimensionamento ótimo de forma que o desempenho seja o que permita menores perdas de cargas combinado aos menores custos, mesmo que os diâmetros adotados não sejam os mínimos.

Os sistemas de distribuição de água estão cada vez mais complexos e maiores, resultando em elevados gastos com a produção de água tratada e com a energia elétrica. Considerando inclusive que nos últimos anos este sistema tem exigido grandes esforços no âmbito técnico, organizacional e financeiro das empresas de saneamento, principalmente devido ao conseqüente aumento das demandas de água para abastecimento (CAMBOIM et. al., 2014).

A implantação e ampliação de sistemas de abastecimento de água possui a determinação de vazão de demanda como premissa básica. Essa demanda requer a avaliação de diversos parâmetros, dentre os quais a população abastecida, os coeficientes de majoração para o dia e hora de maior consumo e além do consumo per capita. (FERNANDES NETO, 2003).

A partir da demanda definem-se outras características como vazão e velocidade do abastecimento ao longo do tempo e assim a tubulação e seus diâmetros. Estes possuem uma relação direta com os custos para implantação do sistema.

Para Porto (2006), o custo da unidade de uma tubulação depende de seu peso, que é função do diâmetro interno e da espessura da parede, e também de custos indiretos. O diâmetro interno é uma variável que está relacionada às condições hidráulicas para garantir o transporte de uma certa vazão, enquanto a espessura é fixada em função dos esforços à qual o material será submetido.

Se o diâmetro adotado for relativamente grande, resultarão perdas de cargas pequenas, portanto a altura total de elevação $H = H_g + \Delta H$ e a potência do conjunto elevatório necessária serão relativamente pequenas, com custos menores, enquanto o custo da linha adutora será alto. Se ao contrário, o diâmetro adotado for relativamente pequeno, a linha adutora terá custo baixo, enquanto as perdas de carga serão altas e o conjunto elevatório ficará mais caro por exigir uma potência maior (PORTO, 2006).

São raros os sistemas de distribuição de água que operam exclusivamente por gravidade, sendo dotados, no mínimo, de um conjunto motor-bomba para recalcar água a diversos pontos (reservatórios, rede hidráulica e adutoras) (BEZERRA, 2009).

Bezerra e Silva (2009) afirmam que a forma mais impactante para amortizar o volume de água fornecido, sem que haja racionamento e/ou “racionalização forçada”, é a diminuição das perdas de água, através da redução da pressão dos sistemas.

Dessa forma, busca-se a redução dos problemas operacionais, como altas pressões, o longo das redes de distribuição. Quanto mais extenso for o sistema de distribuição de água, maiores serão os problemas operacionais em decorrência dos muitos elementos potencialmente sujeitos às mudanças de estado envolvidas no transporte da água (CAMBOIM et. al., 2014).

A gama de possibilidades operacionais faz com que os projetistas não tenham pleno domínio do comportamento do sistema. Na maioria dos casos, as regras operacionais implementadas ficam sujeitas a elevado grau de empirismo, simplesmente com o objetivo de garantir a continuidade do abastecimento público, sem a preocupação de alcançar uma eficiência operacional e econômica (CAMBOIM et. al., 2014).

MÉTODO GRANADOS

Muitas técnicas têm sido utilizadas para dimensionamento de redes de distribuição de água. No Brasil os métodos tradicionais tem sido os mais utilizados, dentre as várias metodologias de tentativa e erro para se obter uma solução, que não garante a solução mais econômica para o problema.

Alguns métodos utilizam a programação não-linear ou a programação linear que obtém um ótimo global. Autores como El Baharawy e Smith, 1985 e 1987, Su et al., 1987, Lancey e Mays, 1989, Lancey et al., 1989, Duan, 1990 fizeram uso da programação não linear para dimensionamento de redes pressurizadas e Formiga (1999) aplicou um método de programação não linear em duas etapas para obter uma solução ótima (CURI & FIRMINO, 2003).

O método desenvolvido por Mota (2007) com um modelo computacional para dimensionamento de redes de distribuição de água utiliza um módulo de simulação hidráulica através do Epanet 2.0 e outro de otimização multiobjetivo através de um algoritmo genérico (SALVINO, 2009).

Percebe-se que há uma grande variedade de modelos e métodos desde a enumeração exaustiva, que simula todas as combinações possíveis, para diâmetros comerciais de tubos e seleciona-se o de menor custo, até algoritmos complexos e robustos (SALVINO, 2009).

Porém o Método Granados é o método que compreende um algoritmo iterativo de otimização, que fornece o menor custo possível de uma rede de distribuição ramificada (custo de investimento e de operação) em função da altura manométrica ou cota piezométrica do sistema de bombeamento (GOMES, 2001).

O método desenvolvido por Alfredo Granados, em 1986, é baseado na programação dinâmica, que tem como principal vantagem sobre os demais métodos de programação a liberdade para que as funções objetivas e as respectivas restrições sejam não lineares ou até mesmo descontínuas (FIGUEIREDO JÚNIOR, 2001).

Esse é um método de dimensionamento otimizado e que pode ser aplicado em redes ramificadas ou malhadas, como desenvolveu Figueiredo Júnior (2001). Pode ser utilizado para dimensionar novas redes ou para otimizar sistemas em execução.

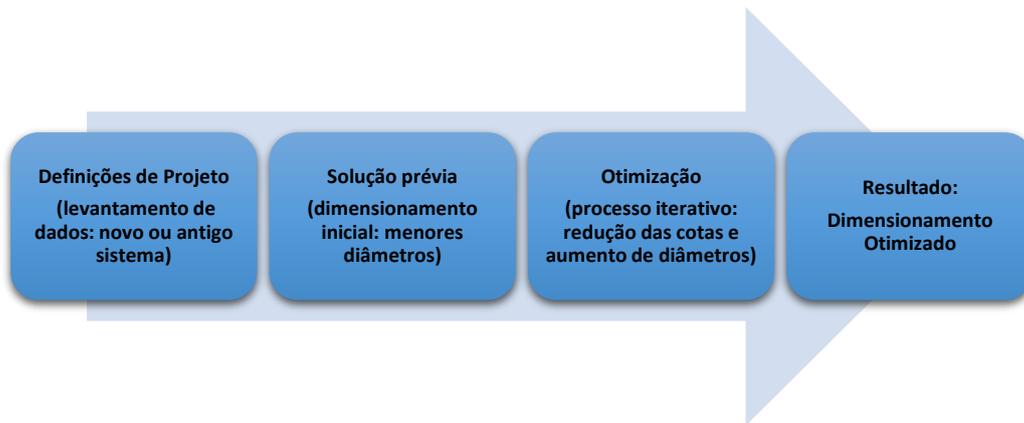


Figura 02 – Esquema do Método de Granados. **Fonte:** AUTOR (2016)

Este método se caracteriza por seu sistema de otimização mediante avanço progressivo de ponta a cabeça, reduzindo em cada iteração as folgas de pressão disponíveis na rede (GRANADOS, 1986).

A aplicação deste Método principalmente em redes ramificadas apresenta-se muito vantajoso visto que à medida que se elimina os excessos das pressões disponíveis, atingem-se as cotas de menor custo ou cotas previamente estabelecidas. Além disso, a variação dos preços das tubulações em função dos seus diâmetros, classes e tipo de material são considerados.

A primeira etapa para aplicação do Método, a solução inicial, é uma solução prévia definida a partir do dimensionamento atribuindo os menores diâmetros possíveis que respeitem os limites de velocidades máximas, oferecendo assim a solução mais econômica possível. E a partir das tubulações mínimas definidas calcula-se a altura manométrica até a cota de cabeceira que define a altura manométrica para bombeamento ou cota mínima para o reservatório.

Atribui-se com a solução prévia uma rede de custos mínimos, mas conseqüentemente com a máxima altura manométrica na cabeceira e máxima pressão ao longo da rede, tornando muitas vezes um sistema inviável.

O objetivo do método é reduzir gradualmente essa pressão (mediante iterações) até alcançar a cota piezométrica de cabeceira desejada, com o incremento mínimo do custo da rede (GRANADOS, 1986).

Para se alcançar a solução ótima os considerados trechos ótimos terão seus diâmetros substituídos pelos imediatamente superiores de tal forma que haja um aumento mínimo no custo da rede, porém com uma redução na perda de carga de todos os trechos a montante do ótimo e também na cota de cabeceira.

$$C = \frac{(P_2 - P_1).L}{(j_1 - j_2).L} = \frac{P_{t2} - P_{t1}}{\Delta H_1 - \Delta H_2}$$

O gradiente de Câmbio – C, é o coeficiente que estabelece a relação entre a variação de preços de tubulações de diâmetros diferentes (1 e 2), sendo o 2 imediatamente superior ao diâmetro 1, e as respectivas variações das perdas de cargas desses diâmetros, no mesmo trecho. C = gradiente de câmbio; P = preço da tubulação por metro; L = comprimento do trecho; P_t = preço da tubulação ao longo de todo o trecho; j = perda de carga localizada; ΔH = perda de carga ao longo do trecho.

Este acréscimo de custo produzido pela mudança de um diâmetro para seu imediatamente superior é minimizado a partir da escolha entre os menores Gradientes de Câmbio (C). O menor valor entre todos os gradientes de câmbio do percurso que contém um nó com folga de pressão igual a zero, é chamado de Gradiente de Câmbio Ótimo (C_{min}) e o trecho correspondente é denominado Trecho Ótimo (T_{ótimo}). O Gradiente de Câmbio Ótimo garante que haverá a maior redução de perda de carga mas com os menores custos e que nem sempre todo o diâmetro do trecho será alterado, podendo ser apenas parcial.

A partir desse decaimento de pressão gradativo com custos controlados, realizam-se iterações até que se encontre a cota de cabeceira ou o custo desejados.

2. METODOLOGIA

Como o método é capaz de atender sistemas variados de distribuição d'água, sejam ramificados ou malhados, este último exige uma adaptação assim como o método de Seccionamento Fictício apresentado por (FIGUEIREDO JUNIOR, 2001)

Para aplicação do método buscou-se um sistema complexo, contendo as variáveis de uma rede de distribuição ramificada, com estações de bombeamentos e/ou reservatórios, que constituem a cota de cabeceira, pontos diversos de atendimento, com reservatórios, injeção direta em rede, trechos com diversos tipos de tubulações em

diâmetros e materiais, além de cotas bem variadas ao longo da rede provocando grande variação das pressões e cotas piezométricas, tornaram o sistema adutor escolhido num ótimo caso para utilização do método em estudo.

Assim sendo, o sistema adutor aqui escolhido para dimensionamento otimizado fora o sistema adutor Serra de Santana, já que possuía condições ideais acima citadas, no Rio Grande do Norte, em grande parte localizado sobre a serra de Santana que capta e trata água da barragem Armando Ribeiro Gonçalves, em Assu, e contribui com o abastecimento d'água dos municípios de Jucurutu, São Rafael, Santana do Matos, Florânia, Tenente Laurentino, Lagoa Nova, São Vicente, Lagoa Nova, Cerro Corá e Bodó.

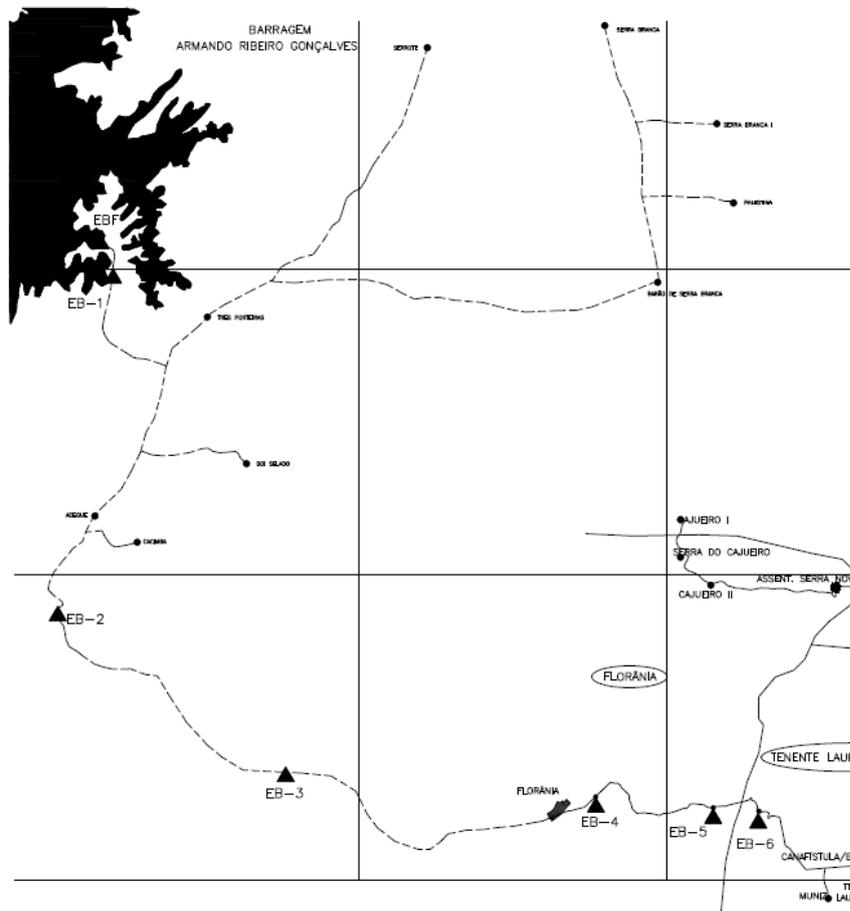


Figura 03 – Projeto do sistema adutor Serra de Santana, parte 01. **Fonte:** CAERN (2015)

As informações iniciais e projetos foram fornecidos pela própria Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte - CAERN (2015). O projeto de dimensionamento deste sistema foi desenvolvido pelo governo do estado e Secretaria de Recursos Hídricos no ano de 1996 e construído nos anos posteriores. Cabendo a companhia em questão apenas a operação e manutenção dos trechos da captação até o bombeamento, não sendo essa companhia responsável pela distribuição, cobrança e instalação de novos pontos de distribuição.

Em resumo depara-se aos projetos deste sistema adutor contendo:

- 1 estação de Captação e respectiva estação de tratamento;
- 7 estações elevatórias;
- 106 pontos de distribuição, contabilizando (cinco cidades e cento e uma comunidades rurais);
- 5 cidades (reservatórios);
- 96 comunidades atendidas por injeção direta em redes de distribuição locais;
- cotas que variam de 74 a 755 metros de altitude.

Este sistema adutor possui sete estações de bombeamento (EB) o que permitiu o fracionamento do sistema para aplicação do método em estudo. Porém como não havia nós, ramais, e pontos de distribuição ao longo de quatro destas estações, foram selecionados somente: as EB1, EB6 e EB7, devida a conveniência e a intenção do estudo aqui realizado. De tal forma que toda a metodologia foi a mesma utilizada nas três estações.

A visita a campo fez-se necessário visto a complexidade do projeto e a possibilidade de informações desatualizadas, já que a CAERN apesar de possuir bastante informações não era responsável pela manutenção e operação do sistema adutor completamente, tão somente pela adução realizada nas estações de bombeamento.

A CONISA é a cooperativa responsável por cobrar, operar e manter a distribuição de água na Serra de Santana e muitas informações somente a cooperativa possuía, como a quantidade de ligações existentes.

Inicialmente o levantamento em campo foi necessário para conseguir as cotas de todos os pontos de distribuição, dado fundamental para aplicação do Método de Granados e que não estava disposto nos relatórios e projetos. Posteriormente, verificou-se que alterações nos pontos de distribuição que deixaram de ser por chafarizes e passaram a ser por injeção direto na rede, algo que modificava a pressão nos pontos de descargas e exigia precisão no levantamento e visitas a todos os pontos.

As cotas foram identificadas em todos os pontos de distribuição além das estações de bombeamento, elevatórias. O equipamento utilizado foi o GPS modelo: Garmin eTrex H, cuja precisão é de aproximadamente sete metros. O equipamento era posicionado no nível da tubulação, nos casos em que havia injeção direta na rede e na altura do ponto d'água, quando chafarizes.



Figura 06 – Ligações dos pontos de injeção direta na rede. **Fonte:** AUTOR (2016)

O ramal principal do sistema adutor, parte da Estação de Bombeamento I e vai até o reservatório na cidade de Bodó, não sofreu nenhuma alteração desde a sua implantação, mas muitos ramais foram criados passando a distribuir água dos ramais secundários e sub-ramais às comunidades não abastecidas inicialmente.



Figura 07 – Bombeamento nas estações elevatórias. **Fonte:** Autor (2016)

Durante o levantamento havia certa incerteza sobre o nome da comunidade e/ou a identificação da localização frente ao mapa disponibilizado pelo projeto, assim as coordenadas foram registradas também pelo GPS, e esses dados confirmados em planilha, esclarecendo e confirmando cada localidade.

Também houve a necessidade de verificar o tipo de distribuição e todos os pontos foram registrados por meio de fotografia digital, identificando qual o diâmetro do ramal secundário que era interligado ao ramal principal.



Figura 08 – Identificação de diâmetros das tubulações. **Fonte:** AUTOR (2016)

Ao longo de todo trabalho de campo, percebeu-se que alguns pontos já haviam sido alterados, apenas acrescentados ao sistema. Todos estes casos que diferenciavam do projeto foram registrados de tal forma que o projeto final foi modificado a partir do disponibilizado pela empresa de abastecimento de água.

A CONISA, cooperativa responsável pelo abastecimento de água (instalação, cobrança e manutenção) na Serra de Santana, contribui com bastante informações neste trabalho, inclusive com orientação e identificação sobre acesso aos pontos de distribuição.



Figura 09 – (a) Chafariz nº 60 em Serra do Meio II. (b) Reservatório em Florânia. **Fonte:** Autor (2016)

As comunidades que passaram a ser acrescentadas ao ramal principal do sistema adutor tiveram suas vazões definidas conforme o método utilizado pelo projeto inicial deste sistema adutor, ou seja, o levantamento da população realizado junto ao Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística – IBGE, 2010, consultado o último censo e as devidas estimativas realizadas para o ano de 2018, de acordo com os projetos prévios da própria CAERN.

NUM	NOME	Q (l/s)	Cota GE	Pmín	EB	D (mm)	V (m/s)	RUG.	L (m)	ΔH	$\Delta(\Delta H)$	Pt	ΔP	C
4	BAIXA DA FLORESTA I	0,294	714	719	7	50	0,150	0,009	3000	1,878	0,000	28,45	0,00	0,00
		0,294	714	719	7	75	0,067	0,009	3000	0,216	1,662	73,16	44,72	26,91
		0,294	714	719	7	100	0,037	0,012	3000	0,083	0,133	723,42	650,26	4880,60
		0,294	714	719	7	150	0,017	0,012	3000	0,010	0,073	940,44	217,02	2961,41
5	BAIXA DA FLORESTA II	0,147	713	718	7	50	0,075	0,009	1800	0,282	0,000	17,07	0,00	0,00
		0,147	713	718	7	75	0,033	0,009	1800	0,032	0,249	43,90	26,83	107,62
		0,147	713	718	7	100	0,019	0,012	1800	0,012	0,020	434,05	390,16	19522,40
		0,147	713	718	7	150	0,008	0,012	1800	0,001	0,011	564,26	130,21	11845,66
7	BAIXA GRANDE	0,106	685	690	7	50	0,054	0,009	140	0,011	0,000	1,33	0,000	0,00
		0,106	685	690	7	75	0,024	0,009	140	0,001	0,010	3,41	2,09	206,98
		0,106	685	690	7	100	0,013	0,012	140	0,001	0,001	33,76	30,35	37545,35
8	BAIXA VERDE I	0,271	712	717	7	50	0,138	0,009	350	0,186	0,000	3,32	0,000	0,00
		0,271	712	717	7	75	0,061	0,009	350	0,021	0,165	8,54	5,22	31,67
		0,271	712	717	7	100	0,035	0,012	350	0,008	0,013	84,40	75,86	5744,20

Tabela 01 – Definição do gradiente de câmbio “C”. **Fonte:** Autor(2015)

Os significados das siglas e unidades utilizados na tabela são: NUM = Número do trecho; Q = vazão do ponto de distribuição, em litros por segundo; Cota GE = Cota do ponto, em metros; Pmín = Pressão mínima adotada no ponto, em metros coluna de água; EB = Estação de bombeamento responsável por abastecer o trecho; D = diâmetro do trecho, em milímetros; V = velocidade da água no trecho, em metros por segundo; RUG = coeficiente de rugosidade de Manning; L = comprimento do trecho, em metros; ΔH = perda de carga no trecho, em metros por metro; $\Delta(\Delta H)$ = perda de carga disponível, em metros por metro; Pt = preço da tubulação do trecho, em reais; ΔP = variação do preço, em reais; C = gradiente de câmbio.

Todos os valores estão disponibilizados em 1mil reais, algo que facilita a apresentação dos dados e a avaliação dos dados apresentados.

Com a caracterização de todos os pontos de distribuição e também os nós da rede elaborou-se através de planilha em software Excel® o cálculo de todos os critérios utilizados pelo Método Granados, vazão, cotas, pressão, diâmetro, velocidade, rugosidade, comprimento, perdas de carga, custos e o gradiente de câmbio C.

O Autocad® foi utilizado para construir um diagrama, atualizado, de forma a tornar o projeto executável ao método em estudo, de forma mais visível, neste caso não fizemos uso de escala.

Os significados das siglas e unidades utilizados na tabela são: $Q_{\text{máx}}$ = vazão máxima atendida pelo diâmetro adotado, em litros por segundo; VR = velocidade no trecho, em metros por segundo; C_{piez} = cota piezométrica do ponto de distribuição, em metros; HP = folga de pressão no trecho, em metros; ΔH = perda de carga no trecho, em metros por metro.

Os diâmetros e materiais utilizados foram 50mm e 75mm (em PVC), além dos diâmetros de 100mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 450mm, 500mm, 600mm (em ferro fundido dúctil). Foi realizado um levantamento de preços, praticados em julho de 2015, das tubulações utilizadas e diâmetros comerciais junto a Saint-Gobain, para os diâmetros de ferro fundido, e revendedora de tubulações Tigre, para diâmetros de tubulações em PVC. Com esses valores calcularam-se o coeficiente de preço e o respectivo coeficiente de ganho de perda de carga, resultando no Gradiente de Câmbio, para todos os diâmetros da solução prévia e os imediatamente superiores.

O Método Granados, então foi utilizado otimizando a cada iteração os trechos considerados ótimos, comparando o gradiente de Câmbio trecho indicado pela solução prévia para cada trecho e as folgas de pressão em toda rede, desde que a montante do trecho ótimo.

A solução ótima foi definida previamente como sendo a solução que possuísse cota de cabeceira igual à cota estabelecida na solução de projeto, já existente. Assim seria possível estabelecer uma comparação entre a solução de projeto (a qual foi estabelecida pelo projeto do sistema adutor) e a solução ótima pelo Método Granados.

3. RESULTADOS

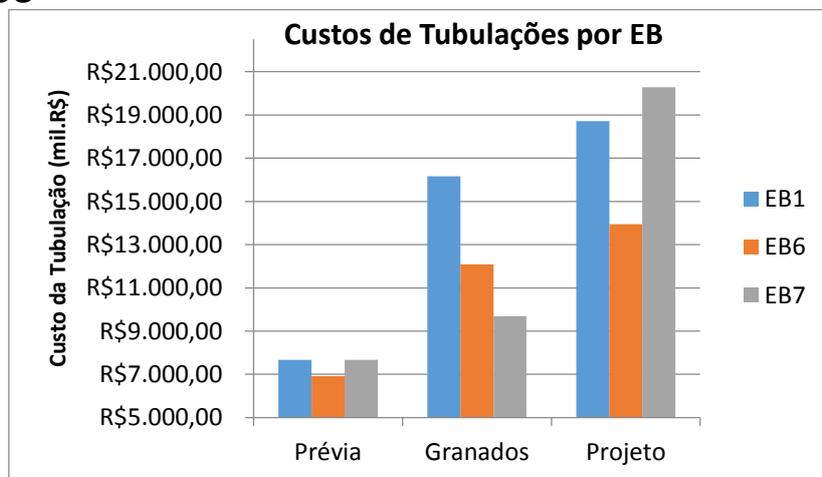


Figura 11 – Avaliação dos custos comparativos entre as três soluções. **Fonte:** AUTOR (2016)

O estudo realizado através da otimização pelo Método Granados, apresentou custos sempre inferiores em relação à solução de projeto. Somando-se os custos totais das estações elevatórias EB1, EB6 e EB7 temos o valor de R\$ 37.920.020,00 enquanto que a solução de projeto apresenta um valor de R\$ 52.950.690,00, valores correspondentes apenas as tubulações utilizadas, correspondendo a uma economia considerável de 28,4%.

Iteração		Solução Previa		21ª		Situação de projeto	
Cota Cabeceira		2308,93		230,00		230,00	
TRE	NOME	D (mm)	CUSTO (R\$)	D (mm)	CUSTO (R\$)	D (mm)	CUSTO (R\$)
111	1a	250	1762,23	400-450	2883,00	350	2190,27
102	TRES PORTEIRAS	75	53,65	200	805,27	150	689,66
112	2a	75	34,14	200	512,45	150	438,87
21	BARAO S.BRANCA	75	303,10	200	4549,42	150	3896,24
113	3a	50	23,70	75	60,97	100	602,85
74	PALESTINA	50	42,67	50-75	84,46	100	1085,13
92	SERRA BRANCA	50	12,33	50	12,33	75	31,70
96	SERROTE	50	80,78	50	80,78	100	2054,51
141	33a	250	2459,74	350	3057,21	300	2828,70
25	BOI SELADO	50	37,93	75-100	713,94	100	964,56
2	ADEQUÊ	200	512,45	250	614,93	300	707,18
47	EB – 2	200	2342,61	200-250	2781,26	300	3232,80
			R\$ 7.665,32			R\$16.156,01	R\$18.722,47

Tabela 03 - Custos das tubulações EB1. **Fonte:** Autor (2016)

A tabela 03, apresenta o quadro resumo da otimização obtida, utilizando o método Granados através do *Excel*, dos trechos atendidos pela EB1. Assim como esperado obteve-se vários diâmetros maiores que os utilizados na situação de projeto.

Referente à otimização do trecho EB1, obteve cinco diâmetros maiores que a situação de projeto de um total de 12 trechos (42% dos trechos).

Apesar de poucos trechos a etapa EB1 está distribuída em longos trechos com apenas cinco trechos maiores que a solução de projeto, por isso custos elevados. Mesmo assim a otimização possibilita economia de cerca de 14% nos custos com tubulações.

Apenas dois trechos, Serra Branca e Serrote, não foram alterados nem parcialmente, com a otimização e estudo apresentado. Necessitou de 21 iterações para alcançar a mesma cota de cabeceira.

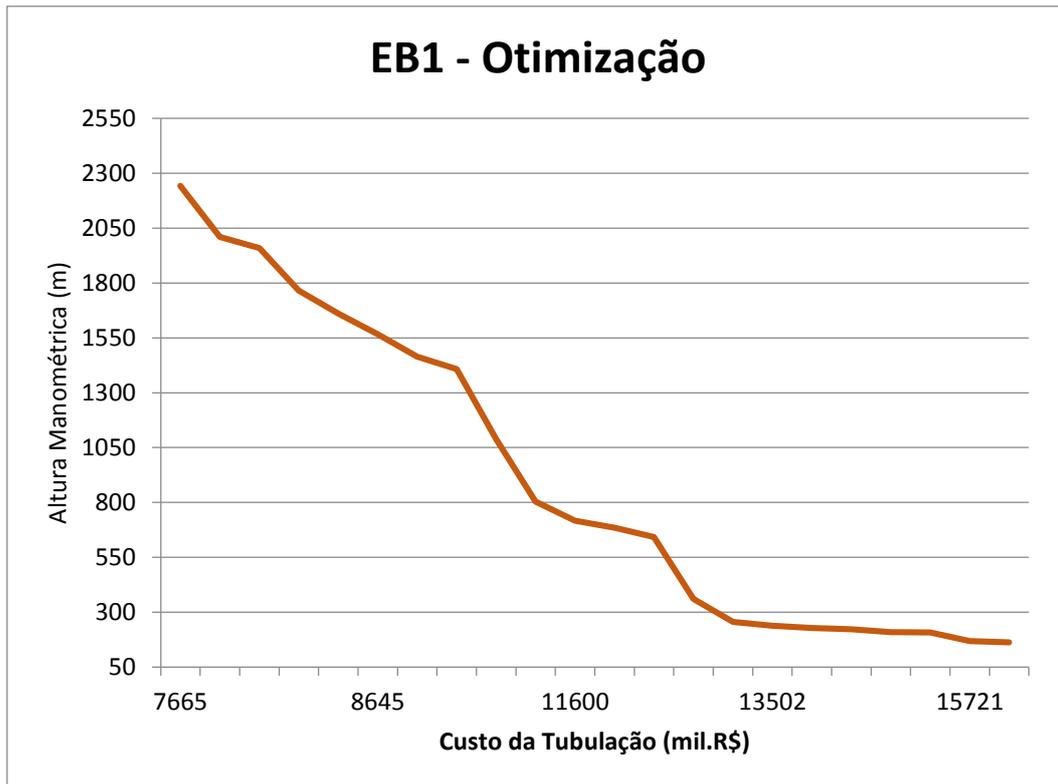


Figura 12 – Gráfico da otimização da etapa EB1. Fonte: Autor (2016)

Iteração		Solução Previa		55ª		Situação de projeto	
Cota Cabeceira		3744,36		867,26		811,24	
TRE	NOME	D (mm)	CUSTOS (R\$)	D (mm)	CUSTOS (R\$)	D (mm)	CUSTOS (R\$)
114	4a	200	1251,83	400	2086,51	300	1727,53
101	TEN.LAURENTINO	200	931,19	400	1552,07	300	1285,04
107	UMBUZEIRO	200	870,43	400	1450,79	300	1201,19
116	6a	200	622,26	400	1037,15	300	858,71
59	JOSE ANTONIO	200	47,58	400	95,11	300	65,67
84	SACO DA LUZIA I	50	82,49	75	212,16	150	2727,28
91	SÃO VICENTE	50	36,13	50-75	80,38	100	918,74
6	BAIXA DO SITIO	150	564,26	400	1098,16	250	790,63
108	USINA DO CAJU	150	438,87	400	854,13	250	614,93
69	MARIZEIRO	150	670,22	400	1304,37	250	939,09
117	7a	150	606,58	400	1180,52	250	849,93
22	BARRO BRANCO	150	56,43	400	109,82	250	79,06
52	EB - 7	150	141,07	400	274,54	250	197,66
73	MUNIZ	50	4,74	50	4,74	75	12,19
61	LAGOA	50	31,29	50	31,29	75	80,48
27	CABEÇO	50	13,75	50	13,75	75	35,36
75	PARA VELHO	50	9,48	50	9,48	75	24,39
72	MONTE ALEGRE	50	37,93	50	37,93	75	97,55
83	RIACHÃO	50	27,19	75	69,94	100	691,59
115	5a	50	22,76	75	58,53	75	58,53
41	CINCO CANTOS	50	16,12	50	16,12	50	16,12
63	LANCHINHA	50	20,94	50	20,94	50	20,94
1	ACAUA DE DENTRO	50	31,29	50	31,29	50	31,29
44	CURICACA	50	39,98	50-75	94,01	75	102,84
3	ASSENT. SER.NOVA	50	43,09	50	43,09	75	110,84
32	CAJUEIRO II	50	38,25	50	38,25	75	98,38

93	SERRA DO CAJUEIRO	50	13,08	50	13,08	50	13,08
31	CAJUEIRO I	50	15,74	50	15,74	50	15,74
104	UMARIZEIRO I	50	11,85	50	11,85	75	30,48
142	34a	50	4,55	50	4,55	75	11,71
105	UMARIZEIRO II	50	9,20	50	9,20	75	23,66
106	UMARIZEIRO III	50	4,27	50	4,27	75	10,97
56	GUEDES	50	14,79	50	14,79	50	14,79
80	PIMENTEIRA II	50	14,49	50	14,49	50	14,49
79	PIMENTEIRA I	50	10,43	50	10,43	50	10,43
35	CHÃ DE CABUGI	50	152,37	50	152,37	50	152,37
30	CABUGI	50	13,10	50	13,10	50	13,10
			R\$ 6.920,01			R\$ 12.068,95	R\$ 13.946,76

Tabela 04 - Custos das tubulações EB2. **Fonte:** Autor (2016)

A tabela 04, apresenta o quadro resumo da otimização obtida, utilizando o método Granados através do *Excel*, dos trechos atendidos pela EB6, obteve-se 11 diâmetros maiores que a situação de projeto de um total de 37 trechos (30% dos trechos).

Vale ressaltar que a otimização se procedeu com as iterações encontrando o mesmo valor da cota de cabeceira das situações reais, com exceção a EB6 que mesmo após 55 iterações não chegou-se a um valor próximo da cota de cabeceira de projeto.

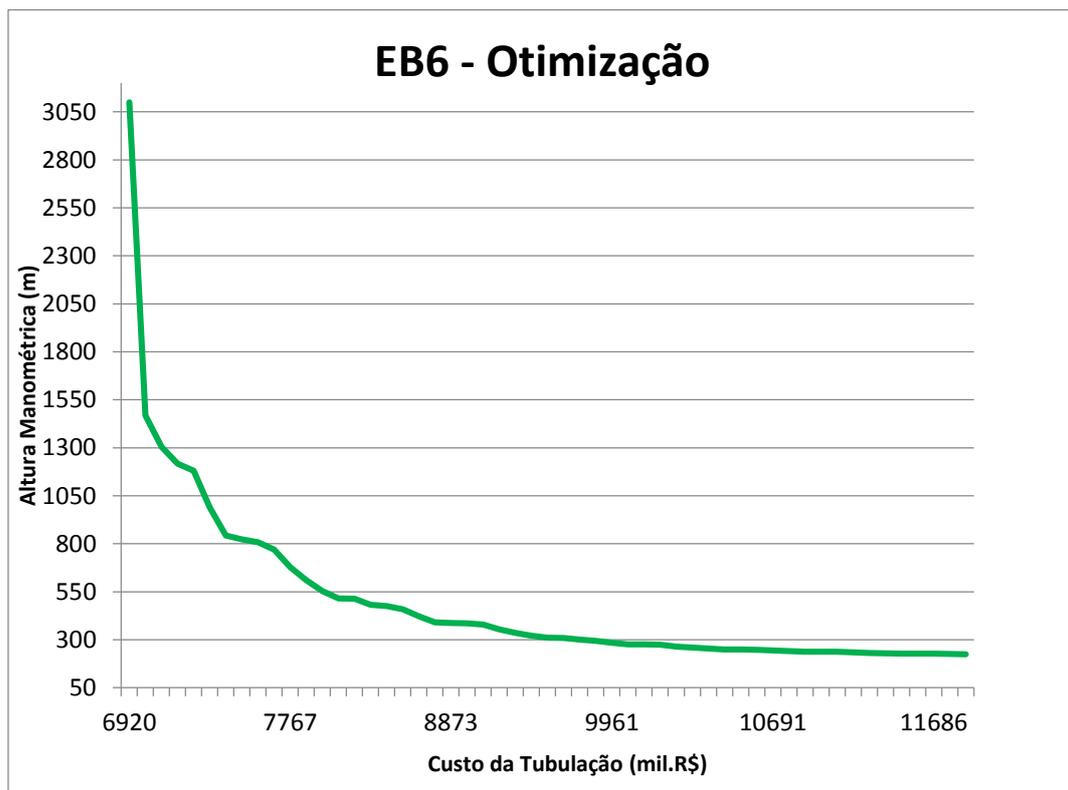


Figura 13 – Gráfico da otimização da etapa EB6. **Fonte:** Autor (2016)

Iteração		Solução Previa		22a		Situação de projeto	
Cota Cabeceira		2251,65		837,45		837,45	
TRE	NOME	D (mm)	CUSTOS (R\$)	D (mm)	CUSTOS (R\$)	D (mm)	CUSTOS (R\$)
67	MANOEL DOMINGOS	150	1216,30	200-250	1498,67	250	R\$ 1.704,25
118	8a	150	564,26	200	658,86	250	R\$ 790,63
97	SITIO DE DENTRO I	150	90,91	200	106,15	250	R\$ 127,38
120	10a	150	345,77	200	403,73	250	R\$ 484,48
88	SÃO FRANCISCO I	150	30,09	200	35,14	250	R\$ 42,17
121	11a	150	297,81	200	347,73	250	R\$ 417,28
45	DEDÉ MACHADO	150	235,11	200	274,52	250	R\$ 329,43
122	12a	150	250,78	200	292,83	250	R\$ 351,39
68	MAR VERMELHO	150	141,07	200	164,71	250	R\$ 197,66
123	13a	150	940,44	200	1098,10	250	R\$ 1.317,72
42	CLAVINORTE I	150	1191,22	200	1390,92	250	R\$ 1.669,11
124	15a	150	264,26	200	308,57	250	R\$ 370,28
62	LAGOA NOVA	150	235,11	200	274,52	250	R\$ 329,43
125	16a	100	373,77	150	485,89	250	R\$ 680,82
17	BAIXA VERDE IIIB	100	108,51	150	141,07	250	R\$ 197,66
58	JOCA PIRES	75	70,72	100-150	848,08	250	R\$ 1.273,79
15	BAIXA VERDE III	75	41,46	75	41,46	250	R\$ 746,71
132	24a	75	40,24	75	40,24	200	R\$ 603,95
136	28a	50	15,52	75	39,92	200	R\$ 599,20
9	BAIXA VERDE IA	50	11,62	75	29,90	200	R\$ 448,76
138	30a	50	4,12	50-75	8,25	200	R\$ 158,86
40	CHÃ DO SITIO	50	3,32	50	3,32	100	R\$ 84,40
139	31a	50	15,17	50	15,17	100	R\$ 385,82
37	CHÃ DE DIVISÃO II	50	1,61	50	1,61	75	R\$ 4,15
119	9a	50	8,06	50	8,06	50	R\$ 8,06
98	SITIO DE DENTRO II	50	1,71	50	1,71	50	R\$ 1,71
99	SITIO DE DENTRO III	50	9,01	50	9,01	50	R\$ 9,01
89	SÃO FRANCISCO II	50	19,91	50	19,91	50	R\$ 19,91
26	BURACO DE LAGOA	50	1,80	50	1,80	50	R\$ 1,80
39	CHÃ DO ESPINHEIRO	50	4,27	50	4,27	50	R\$ 4,27
65	MACAMBIRA II	50	15,64	50	15,64	75	R\$ 40,24
66	MACAMBIRA III	50	14,70	50	14,70	75	R\$ 37,80
90	SÃO LUIZ (Macambira)	50	36,58	50	36,58	75	R\$ 36,58
128	19a	50	8,06	50	8,06	50	R\$ 8,06
28	CABEÇO DOS FERREIROS	50	33,19	50	33,19	50	R\$ 33,19
64	MACAMBIRA	50	14,99	50	14,99	50	R\$ 14,99
7	BAIXA GRANDE	50	1,33	50	1,33	50	R\$ 1,33
43	CLAVINORTE II (V.Serra)	50	7,96	50	7,96	50	R\$ 7,96
129	20a	50	37,93	50	37,93	100	R\$ 964,56
54	FILGUEIRA II	50	12,33	50	12,33	100	R\$ 313,48
53	FILGUEIRA I	50	2,28	50	2,28	100	R\$ 57,87
130	21a	50	422,00	50	422,00	100	R\$ 422,00
81	PONTA DE LINHA I	50	5,69	50	5,69	100	R\$ 144,68
77	PAU D'OLEO	50	17,07	50	17,07	100	R\$ 434,05
82	PONTA DE LINHA II	50	5,69	50	5,69	100	R\$ 96,46
94	SERRA DO MEIO I	50	25,60	50	25,60	100	R\$ 651,08
95	SERRA DO MEIO II	50	12,33	50	12,33	100	R\$ 313,48
100	SITIO DO MEIO	50	18,68	50	18,68	50	R\$ 18,68
29	CABEÇO DOS PAULINOS	50	26,55	50	26,55	50	R\$ 26,55
34	CEARA	50	1,42	50	1,42	50	R\$ 1,42
126	17a	50	12,33	50	12,33	75	R\$ 31,70
10	BAIXA VERDE IB	50	3,93	50	3,93	50	R\$ 3,93
33	CANTA GALO	50	5,69	50	5,69	50	R\$ 5,69
127	18a	50	10,43	50	10,43	75	R\$ 26,83

20	BAIXA VERDE IV	50	10,62	50	10,62	50	R\$	10,62	
8	BAIXA VERDE I	50	3,32	50	3,32	50	R\$	3,32	
87	SANTA RITA	50	15,64	50	15,64	50	R\$	15,64	
11	BAIXA VERDE II	50	9,48	50	9,48	75	R\$	24,39	
131	23a	50	11,38	50	11,38	75	R\$	29,26	
16	BAIXA VERDE IIIA	50	1,23	50	1,23	75	R\$	3,17	
19	BAIXA VERDE IIID	50	5,69	50	5,69	75	R\$	14,63	
133	25a	50	1,42	75	3,66	75	R\$	3,66	
134	26a	50	10,43	50	10,43	75	R\$	26,83	
14	BAIXA VERDE IIC	50	3,32	50	3,32	75	R\$	8,54	
71	MASSANGANA II	50	6,16	50	6,16	75	R\$	15,85	
70	MASSANGANA I	50	9,48	50	9,48	75	R\$	24,39	
135	27a	50	21,81	50	21,81	75	R\$	56,09	
60	JUTIARANA	50	14,70	50	14,70	75	R\$	37,80	
76	PARAISO	50	1,04	50	1,04	50	R\$	2,68	
137	29a	50	11,62	50	11,62	50	R\$	11,62	
18	BAIXA VERDE IIIC	50	7,11	50	7,11	50	R\$	7,11	
13	BAIXA VERDE IIB	50	3,32	50	3,32	50	R\$	3,32	
38	CHÃ DE DIVISÃO III	50	16,12	50	16,12	75	R\$	41,46	
4	BAIXA DA FLORESTA I	50	28,45	50	28,45	75	R\$	73,16	
5	BAIXA DA FLORESTA II	50	17,07	50	17,07	75	R\$	43,90	
86	SANTA CLARA (ASSENT)	50	18,02	50	18,02	100	R\$	458,17	
36	CHÃ DE DIVISÃO I	50	27,50	50	27,50	75	R\$	70,72	
140	32a	50	41,72	50	41,72	75	R\$	107,30	
110	VARZEA DO FELIX	50	9,48	50	9,48	50	R\$	9,48	
57	IMPUEIRAS	50	12,33	50	12,33	50	R\$	12,33	
23	BELO JARDIM(1)	50	3,78	50	3,78	200	R\$	146,05	
103	TUPINAMBA	50	25,60	50	25,60	200	R\$	988,29	
109	UMBUZEIRO II	50	22,76	50	22,76	100	R\$	578,74	
24	BODÓ	50	15,74	50	15,74	100	R\$	400,29	
			R\$ 7.672,66				R\$ 9.695,06	R\$ 20.281,46	

Tabela 05 - Tabela de custos das tubulações EB7. **Fonte:** Autor (2015)

A tabela 05, apresenta o quadro resumo da otimização obtida, utilizando o método Granados através do *Excel*, dos trechos atendidos pela EB7. Não obteve-se nenhum diâmetro maior que a situação de projeto de um total de 84 trechos (% dos trechos).

TER	Cotas de cabeceiras		
	Prévia (m)	Granados (m)	Projeto (m)
EB1	2241,93	163,00	163,00
EB6	3100,36	223,26	167,24
EB7	2251,65	123,45	123,45

Tabela 06 – Cotas de cabeceiras adotadas. **Fonte:** Autor (2016)

As cotas de cabeceira encontradas nas soluções prévias foram muito superiores que as cotas de cabeceiras adotadas na situação de projeto e respectivamente nas soluções de Granados, Tabela 06.

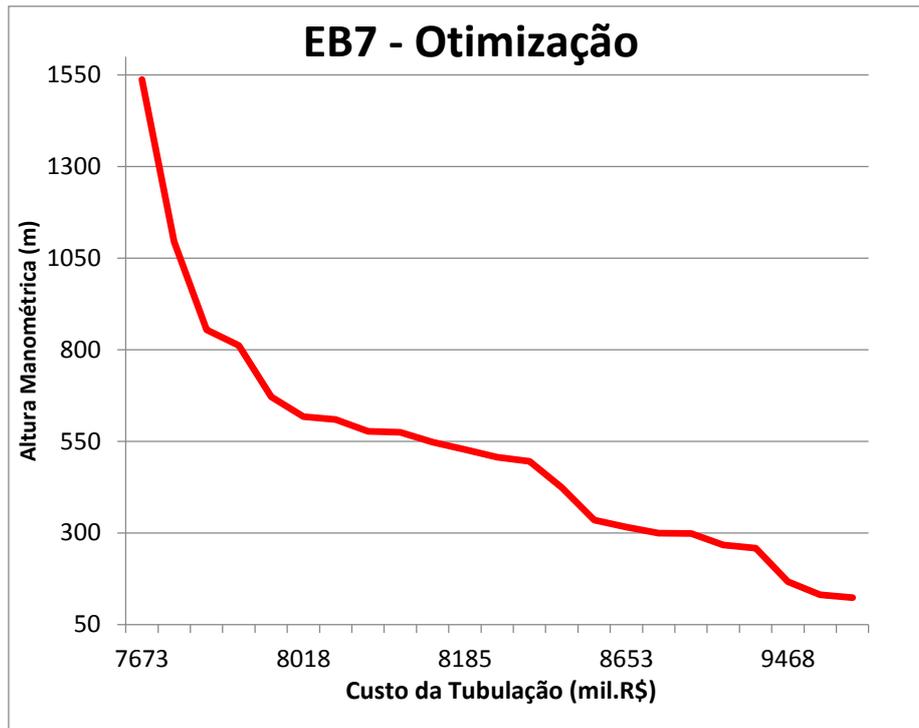


Figura 14 – Gráfico da otimização da etapa EB7. **Fonte:** Autor (2016)

Por fim, apresenta-se a figura 10 – com os custos das tubulações, comparando os custos da solução prévia, otimização Granados e a solução de projeto. Este gráfico mostra que todas as etapas deste sistema adutor possuem custos elevados tanto em relação a solução prévia quanto ao método granados.

Embora possuam custos consideravelmente maiores, os custos da situação de projeto estão próximos dos custos do método Granados. A exceção é a situação de projeto da EB7 que apresenta um custo elevado em relação ao método Granado.

Na comparação de custos encontra-se os seguintes percentuais, para a etapa EB1: o método de granados obteve uma solução 111% mais cara que a solução prévia e a situação de projeto 16% mais cara que o método Granados; para a etapa EB6: o método de granados obteve uma solução 74% mais cara que a solução prévia e a situação de projeto 16% mais cara que o método Granados; para a etapa EB7: o método de granados obteve uma solução 26% mais cara que a solução prévia e a situação de projeto 109% mais cara que o método Granados;

	HP (FP)		$\Delta(\Delta H)$	
	Inicial	Final	Inicial	Final
EB1	13.262,69	1.615,02	2.832,04	258,92
EB6	79.164,55	3.716,84	86.084,56	15.785,79
EB7	70.641,40	9.593,27	1.945,98	747,20

Tabela 07 – Resumo das folgas de pressões e ΔH disponível. **Fonte:** Autor (2016)

Apresenta-se acima a tabela 07 com a redução das folgas de pressões, HP (FP), e das perdas de cargas disponíveis, $\Delta(\Delta H)$, ao longo do processo de otimização (iterações). O decréscimo de pressão reduziu consideravelmente as folgas de pressões ocorridas justamente pelo aumento dos diâmetros que ocasionou em menores ΔH disponíveis nos maiores diâmetros.

Houve redução na perda de carga disponível e quase foi zerada nas etapas EB1 e EB6. Embora a otimização da EB6 não tenha obtido a cota de cabeceira esperada, percebe-se que teve a maior redução das folgas de pressão tanto em números absolutos como proporcionais (mais de 95% de redução). Na EB6 foi utilizada mais de 90% da perda de carga disponível, algo muito bem alcançado também na EB1.

4. DISCUSSÕES

Inicialmente, diferente do que era esperado não obteve-se muitos diâmetros maiores que trechos já adotados fato que torna o método mais viável do ponto de vista dos custos com tubulação.

A comparação realizada como parâmetro deve considerar que os valores foram todos atribuídos ao preço de mercado neste ano de 2015, sem considerar tubulações especiais.

Percebe-se uma discrepância da situação de projeto, que seguiu a tendência normal que seria a de que o método Granados obteria uma solução mais econômica que a situação de projeto, a otimização obviamente só não poderia ser mais econômica que a solução prévia que admite os menores diâmetros possíveis e conseqüentemente cotas de cabeceiras altíssimas o que a transforma em uma solução desconsiderada.

Deve-se considerar que as mesmas cotas de cabeceira foram utilizadas pela situação de projeto e o método granados o que garante que os custos com o bombeamento seriam os mesmos, diferentemente da tubulação definida na situação de projeto, vale destacar que são valores altíssimos para bombeamento. Diante disto não cabe comparações entre as soluções prévias e os outros dois dimensionamentos.

Diante de métodos pouco ótimos e mais práticos na elaboração dos projetos de sistemas adutores como o estudado, a princípio se mostra inviável economicamente, reforçando ainda mais o método utilizado neste estudo. De tal forma não se justifica descartar o método de Granados sem avaliar seus custos, inclusive erroneamente acreditar

que este método torna-se inviável para redes malhadas ou ramificadas. Outro motivo que se aconselha fazer uso deste método é devido a necessidade de ampliações do sistema constantemente por isso8 passa a ser interessante uma atualização otimizada do sistema adutor.

Vale lembrar que como foram utilizados uma quantidade significativa de trechos com tubulações em PVC, principalmente no trecho da EB7, e outros em Ferro fundido devido ao preço diferenciado destes materiais respectivamente os gradientes de câmbio tiveram influencia considerável na otimização, resultando em altos gradientes “C” para trechos com os menores diâmetros. Um exemplo disto é na EB7, quando os principais trechos, ramais primários, sofreram alterações enquanto que os secundários (principalmente os diâmetros de 75 mm foram mantidos).

Não foi utilizada a variação das classes das tubulações neste trabalho, o que facilitou a execução do método, mas dessa forma ainda pode haver soluções mais viáveis se considerar a gama de tubulações e suas classes disponíveis no mercado e que não foram levadas em consideração.

Além disso, de acordo com a metodologia utilizada tornou-se inviável alcançar a cota de cabeceira na EB6 com a que foi utilizada na situação de projeto, visto que os valores de ΔH disponível não eram mais suficientes para alcançar grandes avanços sobre a cota citada. Como a função é exponencial, a redução da cota de cabeceira vai sendo cada vez menos viável a cada iteração e dessa forma após 55 iterações não tornou-se economicamente interessante reduzir centímetros da cota de cabeceira tendo-se que investir dezenas de milhares de reais para modificar a tubulação de determinado trecho.

A metodologia utilizada não alcançou um resultado esperado para a EB6, concluindo numa cota de cabeceira ainda superior a utilizada no projeto. Isso mostra o quão se faz necessário o uso de algoritmos capazes de executar problemas deste tipo.

5. CONCLUSÕES

- A otimização pelo método Granados é limitada pelas classes das tubulações;
- Nesse sistema adutor a etapa EB1 é ideal para aplicação do método;
- O dimensionamento por este método pode ser realizado através de planilhas eletrônicas.

6. RECOMENDAÇÕES

- Desenvolver o sistema em programa computacional, facilitando e agilizando a execução do método;
- Comparar com outros métodos de otimização;

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água, Resultados por Estado**. v. 2. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Resultados.aspx> Consórcio Engecorp/Projotec/Geoambiente/ RiversideTechnology>. Acesso em: 02 nov. 2014.

BEZERRA, S.T.M. (2009) **Sistema Fuzzy para o Controle Piezométrico de Sistemas de Distribuição de Água Visando a Economia de Água e Energia**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Unidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba. 161p.

BEZERRA, S. T. M. et al. **Otimização econômica para a reabilitação de rede de distribuição considerando a instalação de boosters**. VI Seminário Iberoamericano sobre abastecimento Urbano de Água, João Pessoa, junho 2006.

BEZERRA S.T.M. & SILVA, S.A. (2009) **Automação e Controle**. In: GOMES, H.P. (org.) **Sistemas de Bombeamento – Eficiência Energetica**. João Pessoa: UFPB. p. 203-249.

BRASIL. ABNT - **NBR 12218 - Projeto De Rede De Distribuicao De Agua Para Abastecimento Publico**. Rio de Janeiro, 1994.

BRASIL. **Lei Federal 9.433**. Política Nacional de Recursos Hídricos, 08 de janeiro de 1997.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357**. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 11 de março de 2005.

CAERN - **Projeto do Sistema Adutor Serra de Santana**. Natal, 2015. CD-ROM.

CAMBOIM, W.L.L. et. al. **Aplicação de Técnicas Fuzzy no controle de pressão em sistemas de abastecimento de água**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.19, n.1, p.67-77, jan./mar. 2014.

CURI, W. F. & FIRMINO, M. B. M. **Um método de dimensionamento ótimo de redes pressurizadas malhadas via programação não linear e linear**. LENRH/UFPB. João Pessoa. Acesso em: 20 nov. 2015.

FERNANDES NETO, Maria de Lourdes. **Avaliação de parâmetros intervenientes no consumo per capita de água: estudo para 96 municípios do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Escola de Engenharia da UFMG, 2008. 146 p.

FIGUEIREDO JÚNIOR, J. V. **Dimensionamento ótimo de redes de distribuição de água pelo Método de Seccionamento Fictício com otimização pelo Método Granados**. Dissertação (Mestrado). Programação de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, 2001.

GOMES, H. **Análise do desempenho hidro-agrícola do perímetro de irrigação Nilo Coelho**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 6, nº 2 Abr/Jun 2001, p.119-127.

GRANADOS, A. **Infraestrutura de Regadios**, *redes coletivas de riego a presión*. E.T.S. de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Departamento de Obras e Aprovechamientos Hidraulicos. Madri, Espanha. 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapas Base dos municípios do Estado do Rio Grande do Norte**. 2010;. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=240310&idtema=16&se arch=rio-grande-do-norte|currais-novos|sinthese-das-informacoes>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4ª ed. São Carlos, EESC-USP, 2006.

SALVINO, M. M. **Método de dimensionamento e controle operacional otimizado para redes de distribuição de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2009.

VIEGAS, E. C. **Gestão da água e princípios ambientais**. Caxias do Sul, RS. Educus, 2008. p.173