ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

# Modelagem paramétrica para estimativa de custos e quantitativos em obras de redes de distribuição de água

## Parametric modeling for cost and quantitative estimation in water distribution networks constructions

**Gabriel Souza Gonzalez**
Universidade Federal do Pará | Belém | Brasil | gabrielsouzagonzalez@gmail.com
**Paulo Fragallo Ferreira**
Universidade Federal do Pará | Belém | Brasil | paulofragallo@gmail.com
**Felipe de Sá Moreira**
Universidade Federal do Pará | Belém | Brasil | samoreira@ufpa.br
**Wylliam Bessa Santana**
Instituto Federal do Pará | Abaetetuba | Brasil | wylliam.santana@ifpa.edu.br
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético - UFPA| Tucuruí | Brasil
**Luiz Maurício Furtado Maués**
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFPA| Belém | Brasil | maues@ufpa.br

**Resumo**

Esta pesquisa visou definir um modelo para orçamentos paramétricos de obras de redes de distribuição de água, utilizando 29 obras realizadas pela Companhia de Saneamento do Pará. O modelo, apresentado na Tabela 1, inclui onze serviços principais e suas respectivas equações. A análise mostrou uma variação média de 1,22% e 10,31% para obras de referência, demonstrando a capacidade explicativa satisfatória do modelo. A validação com duas obras adicionais resultou em variações de 4,37% e 9,47% em relação aos orçamentos analíticos. Estes resultados demonstram a capacidade explicativa satisfatória do modelo desenvolvido, bem como, sugere a adequação da variável metro linear de execução para cálculo do orçamento paramétrico de obras de redes de distribuição de água.

Palavras-chave: Construção civil. Estimativa de custos. Infraestrutura. Regressão linear.

**Abstract**

*This research aimed to define a model for parametric budgets for water distribution network works, using 29 works carried out by Pará Sanitation Company. The model, presented in Table 1, includes eleven main services and their respective equations. The analysis showed an average variation of 1.22% and 10.31% for reference works, demonstrating the satisfactory explanatory*

Como citar:
GONZALEZ, R.S et al. Modelagem paramétrica para estimativa de custos e quantitativos em obras de redes de distribuição de água. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

*capacity of the model. Validation with two additional works resulted in variations of 4.37% and 9.47% in relation to the analytical budgets. These results demonstrate the satisfactory explanatory capacity of the developed model, as well as suggesting the suitability of the linear meter variable for calculating the parametric budget for water distribution network works.*

*Keywords: Civil construction. Cost estimation. Infrastructure. Linear regression.*

## INTRODUÇÃO

O sistema de redes de abastecimento de água, enquanto componente fundamental para garantir a dignidade e o acesso ao saneamento básico, necessita satisfazer exigências técnicas concernentes à quantidade e qualidade, visando o consumo humano de toda a população [1]. No entanto, 15,8% da população brasileira não tem acesso a água devidamente tratada por meio de infraestruturas de abastecimento hídrico. Já na região norte, estes números são ainda mais expressivos, e 27,8% da população não tem acesso a água [2].

Estes dados destacam a importância do desenvolvimento de obras de infraestrutura para expandir a distribuição e o acesso à água portável no país, sobretudo na região norte. Contudo, devido aos altos custos das obras de infraestrutura é fundamental a realização de estudos de viabilidade precisos, visando a previsão e antecipação de variáveis como tempo, custo e demais recursos essenciais, indispensáveis para a consecução dos objetivos predefinidos do projeto [3]. Dentre estas variáveis, o custo emerge como uma variável restritiva, sobretudo em obras públicas de infraestrutura devido ao seu alto valor [4]. Para [5] a rede de distribuição de água frequentemente se destaca como o serviço mais dispendioso em um sistema de abastecimento de água, sendo que seus custos de implementação e manutenção estão diretamente ligados à qualidade do serviço.

Para reduzir desvios orçamentários de projeto, a avaliação de despesas determina um valor de referência para um serviço específico, sendo a estimativa de custos uma abordagem eficaz para agilizar o processo de estudos de viabilidade [6]. No entanto, a imprecisão na orçamentação emerge como uma problemática central, conforme evidenciado pelo estudo conduzido por [7], revelando que 90% dos projetos finais de construção experimentam um aumento médio de custo em relação ao orçamentado, com uma média de incremento de 28%. [8] indica que menos da metade dos projetos públicos são concluídos dentro do valor previamente contratado e estimado. As elevadas percentagens de projetos com excedentes de custos apontam para uma considerável disparidade entre o custo estimado e o custo real, destacando a necessidade premente do emprego de métodos confiáveis na estimativa de custos.

A precisão e confiabilidade da estimativa, considerando o nível desejado de acurácia, estão ligadas a diversos elementos. Entre esses fatores, destacam-se a disponibilidade, qualidade e profundidade dos documentos técnicos, a metodologia empregada na realização da estimativa, e a competência dos especialistas encarregados da condução do procedimento de estimativa [9]. Para [10], a estimativa paramétrica incorpora os parâmetros relevantes com o propósito de antecipar os custos de construção, empregando dados de projetos prévios.

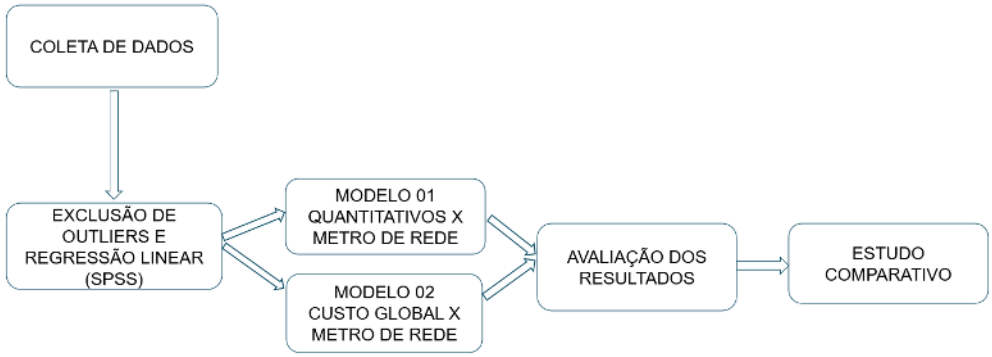
Análises de regressão e técnicas de redes neurais são frequentemente utilizadas para a determinação de um modelo de custos apropriado. [11] desenvolveram um estudo de dados paramétricos para estimativa de custos de construção de reservatórios de água utilizando a regressão linear para análise de dados de obras no estado do Pará. [12] realizaram uma estimativa paramétrica de custos de esquadrias para obras prisionais utilizando a Simulação de Monte Carlo. Moreira, [13] e [14] propuseram modelos paramétricos para previsão de custos da viabilidade de pavimentos tipos utilizando a regressão linear.

O presente trabalho tem como objetivo verificar a acurácia da estimativa de custos aplicando o modelo paramétrico de regressão linear em dados provenientes de obras de redes de abastecimento de água. Após a análise, com a finalidade de avaliar a sua aplicabilidade em contextos práticos de estimativas, achar uma correlação eficiente utilizando-se da metragem de dados de redes reais para análise.

## METODOLOGIA

A Figura 1 abaixo ilustra o fluxograma contendo a ordem lógica das etapas adotadas na metodologia da pesquisa, são elas: a coleta de dados; exclusão de outliers e regressão linear; confecção dos modelos 1 e 2; avaliação dos resultados e; estudo comparativo.

**Figura 1: Fluxograma resumo da metodologia**



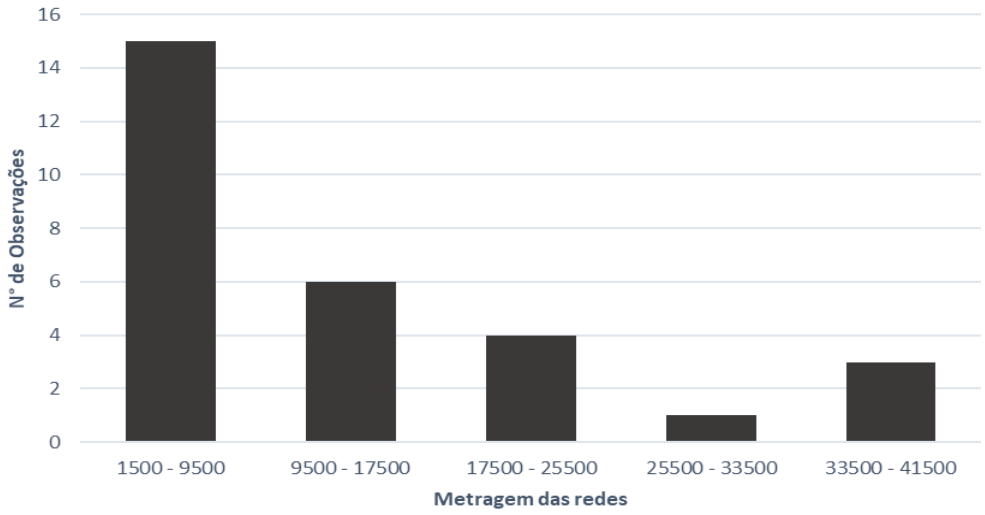

Fonte: Autores

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos por meio da análise de bancos de dados pertencentes à Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), a concessionária local responsável pelos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto. A coleta desses dados foi realizada por meio da análise de planilhas orçamentárias provenientes de 10 contratos distintos, em 7 municípios diferentes: Marituba, Moju, Alenquer, Viseu, Castanhal, Santarém, Marabá. Os dados foram retirados de planilhas orçamentárias que abrangem o período de maio de 2013 a abril de 2021, considerando a sua data de aprovação. Após a seleção dos orçamentos, os dados dos quantitativos dos serviços foram coletados.

A amostra utilizada nesta pesquisa abrangeu 29 obras de oito municípios distintos no Estado do Pará. As metragens das redes variaram entre 1.755,18 e 40.515 metros. A

representação gráfica da distribuição estatística dessas obras é apresentada na Figura 2, oferecendo uma visão detalhada da variabilidade nas metragens dos setores de abastecimento.

**Figura 2: Distribuição das obras em relação à metragem das redes**




Fonte: Autores

Para a otimização da eficiência do modelo, adotou-se o critério de exclusão de variáveis, estabelecendo um número mínimo, n=20, visando aumentar a confiabilidade dos resultados. A aplicação dos testes de normalidade, especialmente os de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling, revelou resultados satisfatórios, indicando uma distribuição apropriada das variáveis em situações típicas de regressão linear simples [15], validando assim a robustez estatística da amostragem com n=20.

Para assegurar resultados mais precisos e interpretações confiáveis dos dados, procedeu-se a remoção de outliers da amostra. O método de Tukey, comumente denominado como boxplot, foi selecionado para identificação e exclusão desses valores discrepantes [16]. Este método, conhecido por sua utilidade, destaca-se por não depender de premissas específicas sobre a distribuição dos dados, além de não fazer uso de médias ou desvios padrão [17]. A aplicação deste método reforça a consistência estatística da amostra, contribuindo para a confiabilidade das análises subsequentes [18]. Após a exclusão dos dados discrepantes da amostra, identificaram-se onze serviços que atenderam aos critérios estabelecidos, tornando-os aptos a serem integrados no estudo. Esses serviços foram categorizados em quatro grupos distintos. No Quadro 1, são apresentados os grupos de serviços e os serviços analisados, oferecendo uma visão sistemática da distribuição e classificação dos elementos estudados.

**Quadro 1: Relação de grupos e serviços analisados**

| Grupo de serviço | Descrição do serviço |
|---|---|
| Serviços iniciais | Locação, sinalização com tela tapume e passadiços de madeira. |
| Movimento de terra | Escavação, reaterro, compactação, base e lastro de areia. |
| Carga e transporte de terra | Carga, descarga, transporte e espalhamento de bota fora e material de empréstimo. |
| Serviços complementares | Cadastro de rede, teste hidrostático. |

Fonte: Autores

Após a compilação do banco de dados, a análise de regressão linear foi conduzida para cada um dos onze serviços e para o custo global da obra, utilizando o software SPSS Statistics v. 25 como ferramenta auxiliar. O objetivo central da análise de regressão é descrever a relação entre duas variáveis por meio de um modelo matemático, fundamentando-se em um conjunto de observações dessas variáveis [19].

A pesquisa resultou na obtenção de dois modelos distintos. No Modelo 1, a análise de regressão linear teve como variáveis independentes os serviços coletados na amostra, conforme mencionado anteriormente, sendo correlacionados com a variável dependente o metro linear de rede de água executado, por ser a variável que melhor explica de forma simplificada o tipo de obra estudada. Supondo x a variável dependente e f(x): a variável independente, determinou-se o ajustamento da reta através de uma função definida pela função f(x)=Ax+B, onde: f(x): quantitativo do serviço; A: coeficiente angular obtido em cada regressão linear; B: coeficiente linear obtido em cada regressão linear; x: metro de rede linear que se deseja calcular o quantitativo total.

Após essa etapa, foi estabelecido o Modelo 02, composto pela análise de regressão linear entre o metro linear de rede equivalente e o custo global das obras. Esse modelo foi desenvolvido com o propósito de explorar e quantificar a relação entre essas duas variáveis, proporcionando informações fundamentais para a compreensão dos custos associados à execução do metro linear de rede equivalente. Considerando x como a variável dependente e v(x) como a variável independente, procedeu-se ao ajustamento da reta por meio de uma função definida pela equação: v(x)=Cx+D, onde: v(x): representa o custo global da obra; C: coeficiente angular obtido na regressão linear; D: coeficiente linear obtido na regressão linear; x: metro de rede linear que se deseja calcular o custo total.

Os custos históricos relacionados à infraestrutura de abastecimento de água foram atualizados para a data de setembro de 2023, mediante a aplicação do Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) fornecido pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). A escolha desta data como referência foi fundamentada na data do contrato mais recente disponível. Desta forma, todos os custos foram atualizados para refletir os valores correntes, utilizando a mesma data base padrão.

Para determinar a direção e mensurar de maneira apropriada a força da correlação linear, recorreu-se a ferramentas algébricas capazes de interpretar essa correlação, uma vez que os diagramas de dispersão podem ser subjetivos. As principais ferramentas utilizadas foram o coeficiente de determinação (frequentemente

representado por $R^2$) e o coeficiente de determinação ajustado. Essas métricas oferecem uma abordagem mais objetiva e quantitativa na avaliação da relação linear entre as variáveis, proporcionando resultados robustos sobre a intensidade e a direção da correlação [20]. O coeficiente de determinação ($R^2$) representa a proporção da variação total de Y explicada pela relação linear com as variáveis independentes X. O coeficiente de determinação ajustado ($R^2$ ajustado) é uma versão modificada do $R^2$ que leva em consideração o número de observações independentes na amostra do modelo.

Na pesquisa, essa métrica foi utilizada com o objetivo de ajustar o modelo, penalizando a inclusão de variáveis desnecessárias e evitando uma inflação artificial do $R^2$ quando novas variáveis são adicionadas [21]. Portanto, o coeficiente de determinação ($R^2$) pode ser adotado como parâmetro para caracterizar a qualidade numérica do modelo. No entanto, é importante ressaltar que apenas esse indicador não é suficiente, sendo necessário complementar a análise com a avaliação da sensibilidade dos dados e dos resultados obtidos [22]. Os resultados apresentados (Quadro 2) para as análises de regressões lineares foram classificados em seis grupos para o $R^2$ ajustado: nula, fraca, média, forte, fortíssima e perfeita.

**Quadro 2: Relação de grupos e serviços analisados**

| **COEFICIENTE** | $\boldsymbol{R^2_{ajustado}}$ |
|---|---|
| $R^2_{ajustado} = 0$ | Nula |
| $0 < R^2_{ajustado} \leq 0{,}09$ | Fraca |
| $0{,}09 < R^2_{ajustado} \leq 0{,}49$ | Média |
| $0{,}49 < R^2_{ajustado} \leq 0{,}81$ | Forte |
| $0{,}81 < R^2_{ajustado} \leq 0{,}9801$ | Fortíssima |
| $0{,}981 < R^2_{ajustado} \leq 1$ | Perfeita |

Fonte: [22]

Por fim, foi realizada a validação dos dados obtidos. Para isso, as equações paramétricas obtidas foram aplicadas e comparadas a orçamentos reais, de modo a obter-se um estudo comparativo. Para esta comparação, foram utilizados dados de duas obras, denominadas de obras 30 e 31. A obra 30 se localiza na região de Maragogi-AL e possui o comprimento de 22.282,52 metros, já a obra 31 localiza-se na região metropolitana de Belém-PA e possui o comprimento de 5.416,26 metros. Para fins de estudo, optou-se por utilizar na comparação obras de diferentes contratos, regiões e não pertencentes a COSANPA.

Para viabilizar a implementação da pesquisa e gerar o modelo paramétrico desejado, foram definidas as seguintes limitações:

a. A análise concentrou-se exclusivamente nos quantitativos de serviço, excluindo especificações detalhadas de materiais e equipamentos, conferindo ao modelo uma abordagem mais genérica e permitindo a utilização de composições comuns na prática da empresa, incorporando preços atualizados conforme as condições de mercado;

b. Os quantitativos dos serviços foram extraídos das quantidades contratuais aprovadas nas planilhas orçamentárias das obras;

c. O escopo do modelo abrangeu unicamente redes de distribuição de água tratada, excluindo redes de adução de água bruta, desconsiderando, assim, eventuais serviços decorrentes de peculiaridades no entorno da obra, como infraestruturas complementares;

d. Serviços de demolição e recomposição asfáltica foram excluídos da análise devido à falta de correlação com a variável de estudo, estando intrinsicamente ligados à variável linear "ruas pavimentadas";

e. A análise dos quantitativos de tubulações foi excluída devido à baixa correlação com a variável de estudo;

f. Peças e conexões da rede não foram contempladas na análise, uma vez que não apresentam um padrão definido, dependendo fortemente das características geométricas da rede de distribuição;

g. Os serviços de escavação e reaterro, originalmente categorizados em modalidades manual e mecanizada, foram agregados como um único serviço para fins de pesquisa. Estas delimitações foram estrategicamente estabelecidas para orientar a pesquisa, priorizando aspectos específicos e pertinentes ao escopo proposto.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada serviço abordado na pesquisa, procedeu-se à determinação das equações de previsão e à condução de uma análise estatística que visou evidenciar a intensidade da relação entre as variáveis e a extensão de rede em que a variação de uma é explicada pela outra. Dessa forma, a Tabela 1 mostra as equações paramétricas que formaram o modelo de previsão de quantitativo, juntamente com os índices $R^2$ e $R^2$ ajustado de cada serviço dentro do modelo.

**Tabela 1: Resultados da análise de regressão entre os quantitativos de serviços e rede executada**

| Serviço | Unidade | Equação | $R^2$ | $R^2$ Ajustado |
|---|---|---|---|---|
| Sinalização com tela tapume | m | $f(x) = 0{,}0216x + 106{,}769$ | 0,877 | 0,871 |
| Passadiço de madeira | m² | $f(x) = 0{,}008x - 4{,}282$ | 0,943 | 0,94 |
| Escavação de vala | m³ | $f(x) = 0{,}67x + 483{,}318$ | 0,977 | 0,977 |
| Esgotamento com moto bomba | h | $f(x) = 0{,}043x + 188{,}147$ | 0,413 | 0,38* |
| Compactação de vala | m² | $f(x) = 0{,}569x + 1018{,}726$ | 0,972 | 0,971 |
| Lastro e envoltória de areia | m³ | $f(x) = 0{,}088x + 1593{,}656$ | 0,187 | 0,155* |
| Reaterro de valas | m³ | $f(x) = 0{,}495x - 226{,}617$ | 0,869 | 0,864 |
| Carga e descarga mecânica de solo | m³ | $f(x) = 0{,}331x + 1297{,}02$ | 0,887 | 0,882 |
| Transporte total de aterro e bota fora | m³*Km | $f(x) = 4{,}899x + 55867{,}69$ | 0,477 | 0,456* |
| Espalhamento de material de bota fora | m³ | $f(x) = 0{,}399x + 1015{,}042$ | 0,956 | 0,954 |
| Teste hidrostático de rede | m | $f(x) = 0{,}928x + 142{,}41$ | 0,951 | 0,948 |

Fonte: Autores

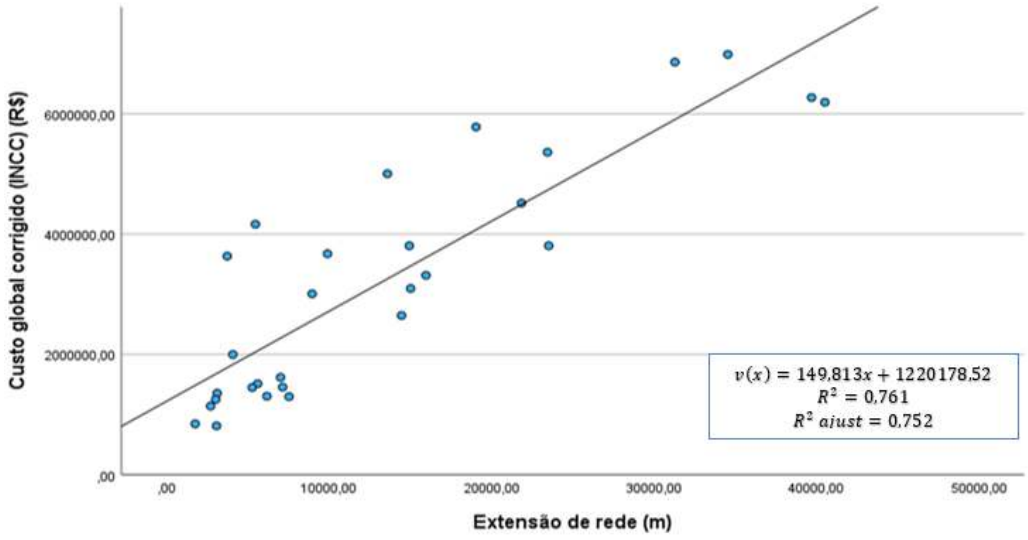
De maneira geral, a elevação do valor de $R^2$ está diretamente associada a uma melhoria nos resultados da estimativa oferecida por essa equação. Estes resultados

mostram que a quantidade da maioria dos serviços está diretamente ligada ao comprimento da rede, uma vez que o poder explicativo da variação destas quantidades dos serviços é baseado no critério $R^2$. Um coeficiente de determinação ($R^2$) que atinge ou ultrapassa 80% é amplamente aceito como adequado para assegurar uma confiabilidade substancial no ajuste da equação de regressão [21].

Conforme observado, apenas os serviços de "esgotamento com moto bomba", "lastro de e envoltória de areia" e "transporte total de aterro e bota fora" apresentaram $R^2$ abaixo de 0,49, significando uma baixa correlação. No entanto, este resultado não invalida o uso destas equações, uma vez que os autores consideram estas variáveis fundamentais para uma análise paramétrica orçamentária à qual se propõe o trabalho.

Analisando todos os serviços e tomando como base a classificação apresentada no Quadro 2, as relações encontradas entre o comprimento de rede e a quantidade dos serviços foram 77,72% fortíssimas e 22,28% médias, quando analisadas pelo critério da avaliação de $R^2$. Estes resultados mostram que a quantidade da maioria dos serviços está diretamente ligada a variável de metros lineares de construção. Para o modelo de custo global, a Figura 3 mostra o modelo de regressão usado em sua previsão juntamente com as equações paramétricas e os índices $R^2$ e $R^2$ ajustado:

**Figura 3: Gráfico de dispersão de custo global corrigido (R$) x Extensão de rede (m)**




Fonte: Autores

Os índices $R^2$ indicam o quão bem o modelo se ajusta aos dados, tal como a Figura 3 que demonstra a convergência e ajuste dos valores. Pelo critério adotado, pode-se dizer que este modelo apresenta uma classificação de correlação forte entre as variáveis comprimento de rede executado e custo total da obra.

Para validar os resultados acerca dos modelos paramétricos, realizou-se a aplicação e comparação das equações paramétricas com dois setores de rede de abastecimento de contratos distintos. A Tabela 2 apresenta o resultado das obras 30 e 31 utilizando o modelo de regressão linear entre o comprimento de rede executado e o custo global licitado:

**Tabela 2: Resultados obtidos pelo modelo paramétricos de custo**

| Obra | Orçamento Real | Orçamento Paramétrico | Diferença | Variação |
|---|---|---|---|---|
| 30 | R$ 4.757.601,58 | R$ 4.558.389,69 | R$ 199.211,89 | 4,37% |
| 31 | R$ 2.223.912,68 | R$ 2.031.604,68 | R$ 192.308,00 | 9,47% |

Fonte: Autores

Ao examinar os desfechos dos modelos paramétricos, conforme evidenciado na Tabela 3, é observado uma notável similaridade entre eles, destacando-se por uma discreta variação. A obra 30 exibiu uma variação média de 4,37%, ao passo que a obra 31 demonstrou uma variação média de 9,47%, ambas em comparação com o orçamento efetivo.

Para testar o modelo e comparar os resultados obtidos utilizando o comprimento de rede, os quantitativos dos serviços foram estimados por meio do modelo e comparados com o quantitativo real (levantados em projetos executivos). A Tabela 3 mostra os resultados do teste para a comparação entre os orçamentos paramétricos estimados pelo modelo e os orçamentos reais de cada serviço analisado na amostra.

**Tabela 3: Resultados obtidos pelos modelos paramétricos de quantidades**

| Serviço | Obra 30 | | | Obra 31 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Orçamento Real (R$) | Orçamento Paramétrico (R$) | Variação (%) | Orçamento Real (R$) | Orçamento Paramétrico (R$) | Variação (%) |
| Sinalização com tela tapume | 4456,5 | 4919,79 | -10,40 | 1083,25 | 1276,68 | -17,86 |
| Passadiço de madeira | 159,29 | 173,98 | -9,22 | 41,16 | 39,05 | 5,13 |
| Escavação de vala | 16472,37 | 15412,61 | 6,43 | 4872,88 | 4112,21 | 15,61 |
| Esgotamento com motobomba | 1354,52 | 1146,30 | 15,37 | 541,63 | 421,05 | 22,26 |
| Compactação de vala | 14888,79 | 13697,48 | 8,00 | 4138,02 | 4100,58 | 0,90 |
| Lastro e envoltória de areia | 4194,40 | 3554,52 | 15,26 | 1555,13 | 2070,29 | -33,13 |
| Reaterro de valas | 15886,12 | 10780,95 | 32,14 | 3794,41 | 2449,02 | 35,46 |
| Carga e descarga mecânica de solo | 7356,25 | 8672,53 | -17,89 | 4283,72 | 3089,80 | 27,87 |
| Transporte total de aterro e bota fora | 166653,24 | 165029,76 | 0,97 | 112480,47 | 82401,95 | 26,74 |
| Espalhamento de material de bota fora | 7356,25 | 9905,77 | -34,66 | 4283,72 | 3176,13 | 25,86 |
| Teste hidrostático de rede | 22476,5 | 20820,59 | 7,37 | 5416,26 | 5168,70 | 4,57 |

Fonte: Autores

Na análise dos modelos paramétricos, fica claro uma proximidade entre os valores. A média da variação de quantitativos para a Obra 28 foi de 1,22%, enquanto que para a obra 29 foi de 10,31%. A incidência de uma variação maior dentro do grupo de serviço Movimento de Terra pode ser justificada pela forte influência de fatores externos ao modelo, como a demanda de água da rede, as diferentes distâncias médias de transporte de cada obra, além dos critérios de quantificação particulares de cada orçamentista. Dessa forma, o modelo mostrou capacidade de, apenas com informações preliminares obter certa precisão, independentemente de projetos preliminares, favorecendo assim os estudos de viabilidade.

## CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve o objetivo de definir um modelo para orçamentos paramétricos de obras de redes de distribuição de água. Como banco de dados foram adotadas 29 obras realizadas pela COSANPA. Como resultado foi possível definir um modelo, apresentado na tabela 1 contendo os onze serviços principais que compõem estrutura analítica de projeto básica deste tipo de obra e suas respectivas equações resultantes. Na análise dos modelos paramétricos de quantitativos a média da variação para as obras de referência foram de 1,22% e 10,31%, respectivamente. Estes resultados demonstram a capacidade explicativa satisfatória do modelo desenvolvido, bem como, sugere a adequação da variável metro linear de execução para cálculo do orçamento paramétrico de obras de redes de distribuição de água.

Para a validação do modelo, foi realizado o orçamento paramétrico de duas obras de redes de distribuição de água realizadas por empresas e regiões diferentes daquelas do estudo, chamadas de obras 30 e 31. Como resultado, foram obtidas variações de 4,37% e 9,47% em relação aos orçamentos analíticos. Satisfazendo os parâmetros de confiabilidades da pesquisa.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a incorporação de um maior número de variáveis de quantitativos não contemplados nessa pesquisa, assim como a incorporação de diferentes tipos de indexadores para a atualização de orçamentos. Além disso, um estudo semelhante poderia ser conduzido utilizando o enfoque na variável demanda de água, que têm uma forte influência dentro dessa análise. Outra abordagem que pode ser feita é relacionada a abordagem em cima dos índices de produtividade, visto que os orçamentos utilizados em sua maioria utilizam índices SINAPI.

Além disso, a contribuição metodológica deste trabalho pode ser estendida para outros tipos de sistemas de infraestrutura. Destaca-se a necessidade de procedimentos tecnológicos, aliados ou não a inteligência artificial como a análise de dados, a serem implementados e continuamente aprimorados no setor da construção civil visando agregar maior precisão ao orçamento de obras.

## REFERÊNCIAS


[1] ORELLANA, A.; MARTIM, A. L. S. S.; ZUFFO, A. C.; et al. **Contribuição ao planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água.** Ribagua, v. 5, n. 2, p. 79–91, 2018.

[2] Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis. Acessado em 22/09/2022.

[3] SWEI, O.; GREGORY, J.; KIRCHAIN, R. **Construction cost estimation:** A parametric approach for better estimates of expected cost and variation. Transportation Research Part B: Methodological, v. 101, p. 295–305, 2017.

[4] MOLINARI, L.; HAEZENDONCK, E.; MABILLARD, V. Cost overruns of Belgian transport infrastructure projects: Analyzing variations over three land transport modes and two project phases. **Transport Policy**, v. 134, p. 167-179, 2023.

[5] KLEINER, Y. **Rehabilitation planning of water distribution networks:** the component and the system perspective. National Research Council of Canada, 1997.

[6] KIM, G. H.; AN, S. H.; KANG, K. I. **Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning.** Building and Environment, v. 39, p. 1235- 1242, 2004.
[7] FLYVBJERG, B.; SKAMRIS HOLM, M. K.; BUHL, S. L. **What Causes Cost Overrun in Transport Infrastructure Projects?** Transport Reviews, v. 24, n. 1, p. 3–18, jan. 2004.
[8] ENDUT, I.R., A. AKINTOYE; J. KELLY. **Cost and time overruns of projects in Malaysia.** 2009. 21: p.243-252.
[9] BELJKAŠ, Z.; PRASCEVIC, Z.; IVANISEVIC, M.; KNEZEVIC, M.; CVETKOVSKA, M. Application of Fuzzy Logic on Selection of Contractors for Construction of High Rise Buildings. In: IOP. **International Scientific Conference "People, Buildings and Environment 2018 (PBE)"**. V. 222. Brno, Czech Republic. October 2018, 17–19.
[10] SONMEZ, R. **Parametric Range Estimating of Building Costs Using Regression Models and Bootstrap**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 134, n. 12, p. 1011–1016, 2008.
[11] KATO, R. B.; PARANHOS, L. P.; CASTRO, V. C. **Estudo de dados paramétricos para a estimativa de custos de construção de reservatórios de água**. Revista DAE, v. 70, n. 235, p. 193-202, 2022.
[12] ISATON, C.; JUNGLES, A. E.; ABREU, J. P. M. de; MARCHIORI, F. F. **Estimativa paramétrica de custos de esquadrias para obras prisionais utilizando Simulação de Monte Carlo**. Ambiente Construído, v. 23, n. 3, p. 63-82, 2023.
[13] MOREIRA, F.; NEVES, R.; MONTENEGRO, A. **Um modelo de previsão de custos de pavimentos tipos na fase de estudo de viabilidade para empresas de construção**. Revista do Instituto Politécnico da Bahia, v. 7, p.21-27, 2014.
[14] MAUÉS, F. C. A.; MELO, K. P. de; LEÃO, C. B. de O.; SERRA, S. M. B. **Estimativa de Custos Paramétricos de Construção de Edifícios Usando Modelo de Regressão Linear.** Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 17, n. 2, p. 19-37, 2022.
[15] PIERCE, D. A.; GRAY, R. J. Testing Normality of Errors in Regression Models. **Biometrika**, v. 69, n. 1, p. 233–233, 1982.
[16] ROUSSEEUW, P. J.; HUBERT, M. Anomaly detection by robust statistics. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery,** v. 8, n. 2, p. e1236, 2017.
[17] SEO, S. **A Review and Comparison of Methods for Detecting Outliers in Univariate Data Sets**, 2006. d-scholarship.pitt.edu. Disponível em: <http://d-scholarship.pitt.edu/7948/>.
[18] BENTO, G. M. & SANTOS, R. T. **Avaliação de Métodos de Remoção de Outliers e seus Impactos na Precisão dos Métodos de interpolação**. 1 Simpósio Mato-Grossense de Mecanização Agrícola e Agricultura de Precisão – SIMAP, SINOP, Brasil, pp. 1, 2018.
[19] CRESPO, A. A**. Estatística Fácil**. 18ª ed. São Paulo: Saraiva, 2002. 224 p.
[20] FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F.L. DA; CHAN, B.L.; Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões, 3rd ed., Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.
[21] OTERO, J. A. **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativa de custos na construção de edifícios**: Estudo de caso voltado para a questão da variabilidade. 2000. 214 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
[22] COUTINHO, L. S. de A. L. et al. **Modelagem do tempo de execução de obras civis:** estudo de caso na Universidade Federal do Pará. Ambient. constr., Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 243-256, 2012.