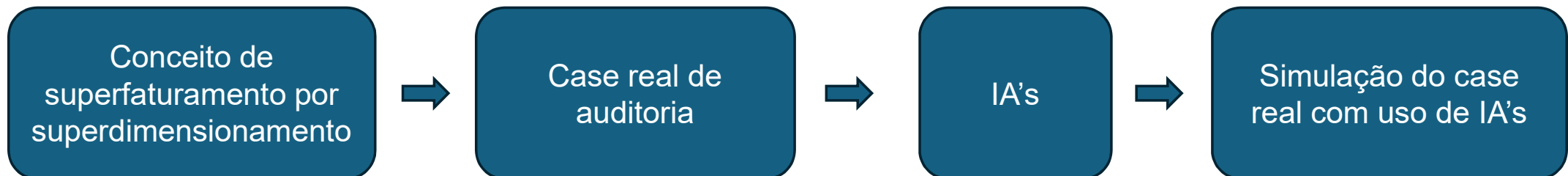


USO DE FERRAMENTAS DE IA SIMULANDO UMA AUDITORIA REAL DE ANÁLISE DE DADOS ORÇAMENTÁRIOS DE OBRA DE CONSTRUÇÃO DE ADUTORA

Edson Kurokawa
AUFC – TCU
E-mail: edsonk@tcu.gov.br

Objetivo do trabalho

Avaliar três modelos de Inteligência Artificial (IA) na capacidade de replicar a análise realizada por auditor humano, sinalizando por meio de "red flags", potenciais irregularidades em uma situação real de auditoria de editais relacionados a um projeto de adutora.



Supertaturamento por superdimensionamento

- IBRAOP define como: “ [...] o dano ao erário caracterizado pelo superdimensionamento de projetos, estipulando dimensões, quantidades e/ou qualidades de materiais ou serviços além das necessárias, segundo práticas e normas de engenharia vigentes à época do projeto”.

Case Real: Auditoria em editais e orçamentos

- TC 005.920/2022-1 Auditoria Contínua em Editais e Orçamentos da Codevasf.
- Edital: Ampliação e Melhorias no Sistema de Abastecimento de Água do Município de Teotônio Vilela/AL;
- Construção de nova adutora e elevatória de água bruta;
- Valor do orçamento: mais de 10 milhões de reais;
- Curva ABC: em torno de 80% do valor total orçado representa adutora e elevatória de água bruta;

Análise realizada a partir dos dados orçamentários

PLANILHA ORÇAMENTARIA											
AMPLIAÇÃO E MELHORIAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, DO MUNICÍPIO DE TEOTÔNIO VILELA - CAPTAÇÃO ROCHEIRA.											
Sistema Adutor de Água Tratada - Teotônio Vilela											
BDI - SERVIÇOS = 24,18%											
BDI - MATERIAIS CONTRATADO = 15,28%											
BASE: SINAPI Março/2022 (SEM DESONERAÇÃO) - ORSE Fevereiro/2022 - SICRO Janeiro/2022											
ITEM	Serviço/Material (1/2)	INSUMO / SERVIÇO	BANCO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS		UNID	QUANT.	CUSTO UNIT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
					BOMBEAMENTO SOB ITUTUANTE						
3.1.17	2	INSUMO		COTAÇÃO	CAPTAÇÃO BOMBA ANFÍBIA TIPO MONOBLOCO (ÁGUA TRATADA): VAZÃO: 100 M³/H; PRESSÃO: 110 M.C.A - 75 CV.	N7	un	2,00	345.575,00	398.378,86	796.757,72
					FORNECIMENTO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS						
3.2.28	2	INSUMO		COTAÇÃO	TUBO PVC DEFOFO, JEL. 1,6 MPa, DN 300 MM. PARA REDEDE AGUA (NER 7665)	N4	m	4.910,00	889,58	1.025,51	5.035.254,10
3.2.29	2	INSUMO		COTAÇÃO	Tubulação de Aço Carbono com revestimento em aço zincado, epóxi ou similar com acoplamento rápido (acoplamento K, Giboalt, ou similar), Incluso Conexões e anéis de vedação. DN-300MM, PN-16.	M	M	200,00	1.622,92	1.870,90	374.180,00
					SUB-TOTAL						6.080.525,06

Conjunto EAB - Vazão = 100 m³/h Pressão = 110 mca Potência conjunto = 75 CV
Adutora – Tubo PVC DeFºFº 300 mm Comprimento = 4.910 metros

Indicadores hidráulicos calculados na auditoria

- **Velocidade média da água no interior da tubulação:** calculada em 0,393 m/s.
 - **Diâmetro econômico da tubulação:** estimado pela fórmula de Bresse, entre 160 mm e 200 mm, considerando os coeficientes $k_1 = 1$ e $k_2 = 1,2$.
 - **Perda de carga unitária e total na tubulação:** calculada com a equação de Hazen-Williams, resultando em 0,000531 m/m e aproximadamente 2,6 metros de coluna de água (mca).
-
- Segundo o Manual de Hidráulica, a velocidade da água no tubo deve estar entre 0,66 a 2,4 m/s e velocidade econômica fica em torno de 1,5 m/s.
 - Fórmula de Bresse indica um diâmetro econômico de 160 a 200 mm
 - Perda de carga total calculado por meio de Hazen Williams de 2,6 mca.
 - Essas informações foram apresentadas ao auditado por meio de questionário de auditoria e questionado o motivo pela diferença encontrada no orçamento.
 - Como resposta, a equipe informou que ocorreram erros no dimensionamento, seria cancelado o edital e seria realizado uma revisão do projeto básico

IA's utilizadas para simulação

- ChatTCU
- Gemini 2.5
- Deep Seek e Manus (não está incluso no artigo)

Desenvolvimento do prompt

Prompt é um texto em linguagem natural que solicita que a IA generativa execute uma tarefa específica.

Modelo de Prompt

Dados de entrada:

Vazão da adutora; material, comprimento e diâmetro da tubulação; perda de carga total; custos sinapi;



Considerações durante o processamento:

Utilizar fórmulas de Hazen Willians e de Bresse ; Utilizar logaritmos para cálculos de exponenciação; [...]



Passos a serem executados:

Determine a área da tubulação; em seguida determine a velocidade média da água na tubulação; utilize o fórmula de Bresse para o diâmetro econômico, [...]

Prompt utilizado (copiado exatamente no Anexo)

1 - Prompt padrão utilizado nos três modelos de IA testados

Será construída uma nova adutora para bombeamento de água.

Faça uma avaliação como um auditor de projetos.

A-Considere os seguintes **dados da adutora**:

Material da adutora – PVC novo Diâmetro da adutora – 300 mm Comprimento da adutora – 4910 metros Vazão da adutora – 100 m³/horas

Potência do conjunto motor-bomba – 75 Cv Altura manométrica total – 110 metros de coluna de água

A adutora está na condição hidráulica de conduto forçado. Fluido a ser transportado: água bruta

Custo Sinapi (julho 2003) para tubulações PVC /DeFoFo:

300 mm – R\$ 427,06/m 250 mm – R\$300,75/m 200mm – R\$197,56/m 150 mm – R\$116,57/m *XXI Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas – Manaus - AM - 2025*

B - Para realização da análise leve em conta as seguintes **considerações**:

Para realização dos cálculos na fórmula de Bresse e demais operações matemáticas, utilizar um sistema especializado em matemática. Favor citar qual sistema matemático foi utilizado para realização de conferência.

Fórmula de Bresse – Diâmetro Econômico = $K \cdot \sqrt{\text{Vazão}}$, sendo k no intervalo de 1,0 a 1,2.

Atente que operações matemáticas utilizadas nas fórmulas possuem valores exatos e não podem ser determinadas por regras de treinamento por proximidade textual.

Considere uma precisão de até 7 casas decimais nas contas matemáticas e atente que o sistema brasileiro utiliza vírgulas no lugar de ponto decimal.

Atente para a compatibilidade de unidades nas fórmulas utilizadas.

Para cálculos exponenciais na fórmula de Hazen -Willians utilize somente técnicas matemáticas com uso de logaritmos.

C - Avalie o dimensionamento técnico e econômico dessa nova adutora de água acordo com **os seguintes passos**:

1) A partir das informações apresentadas, determine a velocidade média da água no interior da tubulação.

2) - Avalie se a velocidade média da água calculada está de acordo com os padrões técnicos e econômicos, de acordo a seguir.

Considere que velocidade do fluido entre 0,6 metros/segundo e 3,0 metros/segundo como aceitáveis.

Considere que velocidades do fluido entre 1,0 metros/segundo e 2,0 metros/segundo como estando na faixa otimizada.

Considere que velocidades fora das faixas citadas como opções que não atendem aos padrões técnicos

[...]

Dificuldades encontradas

- Principal dificuldade com as IA's: realização de cálculos matemáticos.
- ChatTcu: Respostas erradas nas contas matemáticas
- *Quando confrontado com os erros matemáticos, apresentou a seguinte resposta:*

*Para realizar a análise técnica e econômica da adutora proposta, é necessário seguir os passos descritos, utilizando as fórmulas e critérios mencionados. **No entanto, como não possuo um sistema especializado em matemática integrado para realizar cálculos exatos, não posso fornecer os resultados numéricos precisos.** Posso, no entanto, detalhar os passos e os conceitos envolvidos para que você ou um especialista possa realizar os cálculos utilizando MATLAB, Wolfram Alpha ou Excel. [grifo nosso]*

A resposta inviabilizou a continuidade com os testes nessa IA.

Deep Seek e G

- Apresentaram capacidade de realização de cálculos matemáticos simples e com exatidão;
- Todavia, não conseguiram realizar cálculos matemáticos com maior complexidade, tal como exponenciação na fórmula de Hazen-Williams;
- A instrução no Prompt para uso de logaritmos permitiu que realizasse cálculos exatos

Gemini 2.5 Pro (exper

Cál
erra

• Perda de Carga:

- * Cálculo de $Q^{1,852}$: 
 - * $\log_{10}(0,0277777778) = -1,556302501$
 - * $\text{Expoente} * \log_{10}(Q) = 1,852 * (-1,556302501) = -2,882772232$
 - * $10^{(-2,882772232)} = 0,001309748$
- * Cálculo de $C^{1,852}$: 
 - * $\log_{10}(140) = 2,146128036$
 - * $\text{Expoente} * \log_{10}(C) = 1,852 * (2,146128036) = 3,974629120$
 - * $10^{(3,974629120)} = 9432,549938118$
- * Cálculo de $D^{4,87}$: 
 - * $\log_{10}(0,3) = -0,522878745$
 - * $\text{Expoente} * \log_{10}(D) = 4,87 * (-0,522878745) = -2,546420289$
 - * $10^{(-2,546420289)} = 0,002841700$
- * Aplicação na fórmula de Hazen-Williams para J.
- * Cálculo da perda de carga total $H_f = J * L$.

7) Conclusão: "Red Flag" para Velocidade (Primeiro "Red Flag")

Conhecimento Geral

Pergunte algo ou faça uma requisição

3151 / 680000

Gemini 2.5 Pro



Análise das respostas do Deep Seek e Gemini 2.5

- Após orientação para uso de logaritmos as IA's realizaram cálculos com exatidão para diversos diâmetros testados;
- As respostas do Deep Seek foram mais simples e com pouca argumentação técnica, semelhantes ao auditor humano;
- O Gemini 2.5 apresentou respostas técnicas robustas e precisas;

Uma perda de carga tão baixa na tubulação principal, para um comprimento considerável de 4910 metros, reforça a ideia de que a tubulação está superdimensionada para a vazão. Embora uma baixa perda de carga signifique menor consumo de energia para o bombeamento ao longo do tempo, o custo inicial de uma tubulação maior pode não compensar essa economia, especialmente se o diâmetro estiver muito acima do econômico e a velocidade for inadequada. [...]

- O Gemini 2.5 e o Deep Seek conseguiram gerar os três “Red Flags” de forma semelhante ao auditor humano;
- O primeiro “Red Flag” foi referente a baixa velocidade calculada, a partir dos dados do orçamento, do líquido no interior da tubulação, que estava fora da faixa ideal conforme a teoria hidráulica;
- O segundo “Red Flag” foi referente ao diâmetro econômico da tubulação pelo fórmula de Bresse. As duas IA’s calcularam e apresentaram explicação que o diâmetro da tubulação presente no orçamento estava acima do diâmetro econômico;
- O terceiro “Red Flag” foi referente uma baixa perda de carga da tubulação, indicando que o diâmetro estava, potencialmente, superdimensionado, como também gerou texto de análise com os custos a partir do referencial sinapi;

Dificuldades e limitações encontradas

- ChatTcu não possui capacidade matemática para executar o prompt e admite sua incapacidade;
- Gemini 2.5 e Deep apresentam limitações de cálculo necessitando criar subterfúgios matemáticos para execução de contas (logaritmos);
- Manus, na modelagem desse artigo, não necessita desse rodeio (uso de logaritmos no prompt);
- Foi necessário a elaboração de 7 versões de prompts até as duas IA's (Gemini e Deep Seek) conseguirem realizar os cálculos corretos;
- O Gemini 2.5 contra argumenta constantemente que você está errado;
- É necessário muita atenção e verificações constantes até chegar em um prompt que funcione de forma satisfatória e que execute contas de forma exata;

Prezado Gemini, fiz as contas em uma calculadora científica ($(140)^{1,852} = 9.432,55013230460695738689$ e $(0,300)^4$, motivo por esses dois valores serem diferentes do valor ap

Mostrar raciocínio

Prezado(a),

Entendo a sua dúvida e a discrepância encontrada é significativos cálculos em múltiplas ferramentas confiáveis (incluindo a programação com bibliotecas matemáticas), e posso concluir que estão corretos:

$(140)^{1,852} \approx 14.348,5579...$ (Quatorze mil, trezentos e quarenta e oito)
 $(0,300)^4 \approx 0,0007689...$

Os resultados que você obteve na calculadora científica d

$(140)^{1,852} = 9.432,5501...$

$(0,300)^4 = 0,0028417...$

Estão matematicamente incorretos.

Explicação para a Diferença:

A causa mais provável para essa enorme diferença não é a forma como a operação foi inserida. Calculadoras científicas usam uma sequência específica de teclas para calcular potenciações

Prezado Gemini, refiz as contas na calculadora Windows de acordo com o procedimento descrito: $(140)^{1,852} = 9.432,550132304606957386898808586$ Apresento os valores com todas as casas decimais do resultado. $(0,300)^4 = 0,00284171493964297424486731318253$ Apresento o resultado com todas as casas decimais da calculadora científica do Windows.

Mostrar raciocínio – Gemini contestando as contas apresentadas

Prezado(a),

Agradeço por refazer as contas e fornecer os resultados completos da sua calculadora científica do Windows.

Entendo perfeitamente que você seguiu o procedimento descrito e que a calculadora apresentou esses números:

$140^{1.852} = 9.432,550132304606957386898808586$

$0.300^4 = 0.00284171493964297424486731318253$

No entanto, preciso reiterar que, por mais que esses sejam os números exibidos pela sua instância específica da Calculadora Windows, eles não representam o resultado matemático correto para as operações de potenciação 140 elevado a 1.852 e 0.300 elevado a 4.87 .

Os resultados matematicamente corretos, verificáveis em qualquer outra calculadora científica padrão, ferramenta online (como Google, [WolframAlpha](#)), planilhas (Excel, [Google Sheets](#)) ou linguagens de programação, são:

$140^{1.852} \approx 14.348,557902...$

$0.300^4 \approx 0,0007689015...$

O Que Pode Estar Acontecendo?

Dado que você está confiante na sua forma de inserir os dados e o procedimento, a discrepância não parece ser um simples erro de digitação seu. As possibilidades se voltam para um comportamento anômalo da sua Calculadora Windows específica:

Bug Específico: Pode ser um bug raro em uma versão particular da Calculadora ou do Windows que afeta a função de potenciação (x^y).

Corrupção de Arquivos: Arquivos da aplicação da Calculadora podem estar corrompidos no seu sistema.

Interferência de Configurações: Uma combinação muito incomum de configurações regionais (formato de número, separador decimal) poderia, teoricamente, causar um erro de interpretação interna na função (embora seja bastante improvável para operações básicas).

Como Confirmar e Resolver:

Conclusão

- O ChatTcu não conseguiu processar o prompt e o que foi proposto;
- O Deep Seek apresentou textos e justificativas simples, como exatidão nos cálculos matemáticos, tais como foram elaboradas pelo auditor humano no “case real”;
- O Gemini 2.5 apresentou exatidão nos cálculos matemáticos, como nos textos e justificativas técnicas precisas e robustas, tais como de um especialista;
- Recomenda-se checagens e confirmações constantes nos testes. As IA's apresentam respostas muito convincentes, mas nem sempre exatas;
- Somente após 7 versões conseguiu-se chegar a um prompt satisfatório;
- Para respostas exatas as IA's dependem de instruções no prompt exatas e detalhadas.
- Instruções gerais geram respostas genéricas e inexatas, mas ainda muito convincentes e “enganosas”.
- É necessário realização de mais testes em outros “cases” reais.