

UM ALGORITMO METAHEURÍSTICO DE APOIO À OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE ADUTORAS

Francisco Jácome Sarmiento¹

Condicionantes no traçado de adutoras:

- Interferências com infraestrutura implantada (linhas de transmissão, subestações elétricas, estradas, ferrovias, etc.);
- Condições geológicas/geotécnicas, em particular em se tratando de adutoras enterradas;
- Áreas de risco de instabilidade/desmoroamento;
- Rede natural de drenagem;
- Disponibilidade de vias que, durante a construção se prestem como caminho de acesso e, no futuro, à manutenção da adutora;
- Localização planialtimétrica das cidades/comunidades ou pontos de entrega da água;
- Imposições da topografia sobre a definição dos equipamentos eletro- e hidromecânicos a serem empregados na adutora, bem como as implicações sobre os sistemas de proteção contra transientes hidráulicos;
- Uso do solo e necessidade de desvio de áreas ambientalmente restritivas;

Genericamente, o custo total de implantação de uma adutora projetada para levar água de A para B será função dos custos fixos, estes diretamente proporcionais ao comprimento l da tubulação, e dos custos variáveis, associados à energia elétrica, cujos gastos são proporcionais à potência (P) necessária à elevação da água:

$$C_{Total} = f(l, P) \quad (1)$$

Os custos relativos à potência são corriqueiramente obtidos a partir do cálculo das perdas de carga através de uma equação de resistência da forma $J = \frac{KQ^n}{D^m}$. Como, por exemplo, a fórmula explícita de Swamee-Jain:

$$J = \frac{0,203Q^2 / gD^5}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{R^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (2)$$

Onde:

J é a perda de carga unitária (m/m);

Q é vazão aduzida (m^3/s);

ε é o coeficiente de rugosidade da parede do tubo;

R é o número de Reynolds;

D é o diâmetro do tubo (m).

Assim, se se deseja que os dispêndios anuais com a adutora sejam o elemento norteador da busca da solução mais econômica para o projeto, a função objetivo a ser posta em investigação será a soma dos custos anualizados de aquisição de tubo (proporcionais ao comprimento) com os custos afetos à energia elétrica (proporcionais ao número de horas de funcionamento anual e a potência):

$$C_{Total} = C_{tubos} + C_{energia} \quad (3)$$

A conversão dos custos de investimento relativos às tubulações em parcelas anualizadas pode ser explicitada a partir do cálculo do coeficiente α :

$$\alpha = i \times \left(\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \times c_t \quad (4)$$

Com:

i = taxa anual de juros para cálculo do valor presente da energia elétrica (%);

n = número de anos para cálculo do valor presente da energia elétrica (anos);

c_t = **custo unitário da tubulação (R\$/m).**

Denominando-se β o coeficiente de proporcionalidade para $C_{energia}$ e considerando e_c taxa unitária de energia consumida (R\$/kWh) teremos simplesmente $\beta = n \times e_c$.

Os coeficientes α e β representam respectivamente as ponderações entre os custos anualizados da tubulação e o custo anual da energia. Assim, na hipótese de tais parcelas, em algum momento dos preços de mercado, coincidirem de ter o mesmo peso no dispêndio anual, teríamos $\alpha = \beta = 1$.

O algoritmo proposto, considerando uma triangulação na direção x (horizontal), consiste nos seguintes passos:

- 1) A partir da célula k, calcular os valores da função $f(l, P)$, tendo como ponto de destino cada uma das possíveis células da próxima linha (coluna) da grade representativa do modelo numérico do terreno (Figura 1);
- 2) Calcular o valor da função $f(l, P)$ tendo como ponto de origem cada uma das células da linha (coluna) da grade referida no passo 1 e, como destino, o ponto de entrega da água.
- 3) Adota-se como célula preferencial de avanço aquela que resultar no valor mínimo para a função calculada como a soma dos dois valores obtidos nos passos 1 e 2 (corresponde ao valor da função objetivo).
- 4) A célula preferencial é assumida como sendo a célula k e o procedimento é repetido até se alcançar a célula correspondente ao ponto de entrega da água.

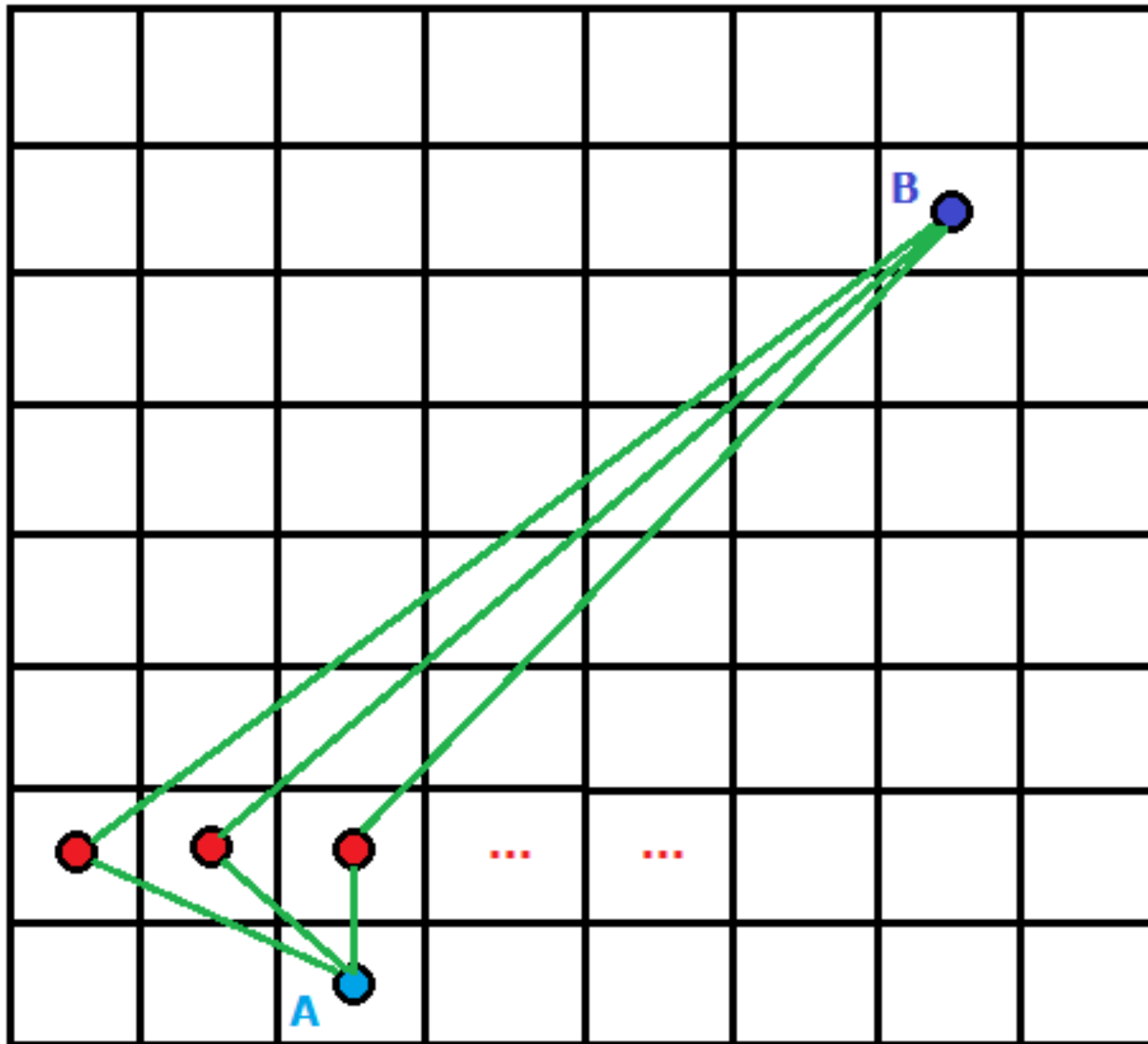


Figura 1 – Esquema de triangulação empregado pelo algoritmo tanto para a direção x como para a direção y.

No cálculo da função referida nos passos 1 e 2, ressalte-se que a altura manométrica a ser considerada será obtida utilizando-se o máximo desnível a ser vencido na trajetória de triangulação. Assim, há que se ter o cuidado em obter o perfil topográfico de cada triangulação para dele se extrair a cota máxima a ser vencida em se adotando aquela direção. Para cada uma das direções sondadas, a função referida pode ser explicitada na seguinte forma:

$$f(l, P(l, h_g)) = l(\alpha c_t + \beta k J) + \beta k h_g \quad (5)$$

Onde:

h_g = é o desnível geométrico máximo extraído do perfil topográfico relativo à direção sondada, tendo o ponto B como destino (m);

k = é uma constante dada por $k = \frac{8g}{75\eta}$;

g = é a aceleração da gravidade (m/s^2);

η = **rendimento total do conjunto motor-bomba (%)**.

$\alpha = \beta = 1$, o que implica em um peso igual entre custos associados à tubulação e custo associados à energia elétrica na função objetivo para a qual se busca o ponto de mínimo

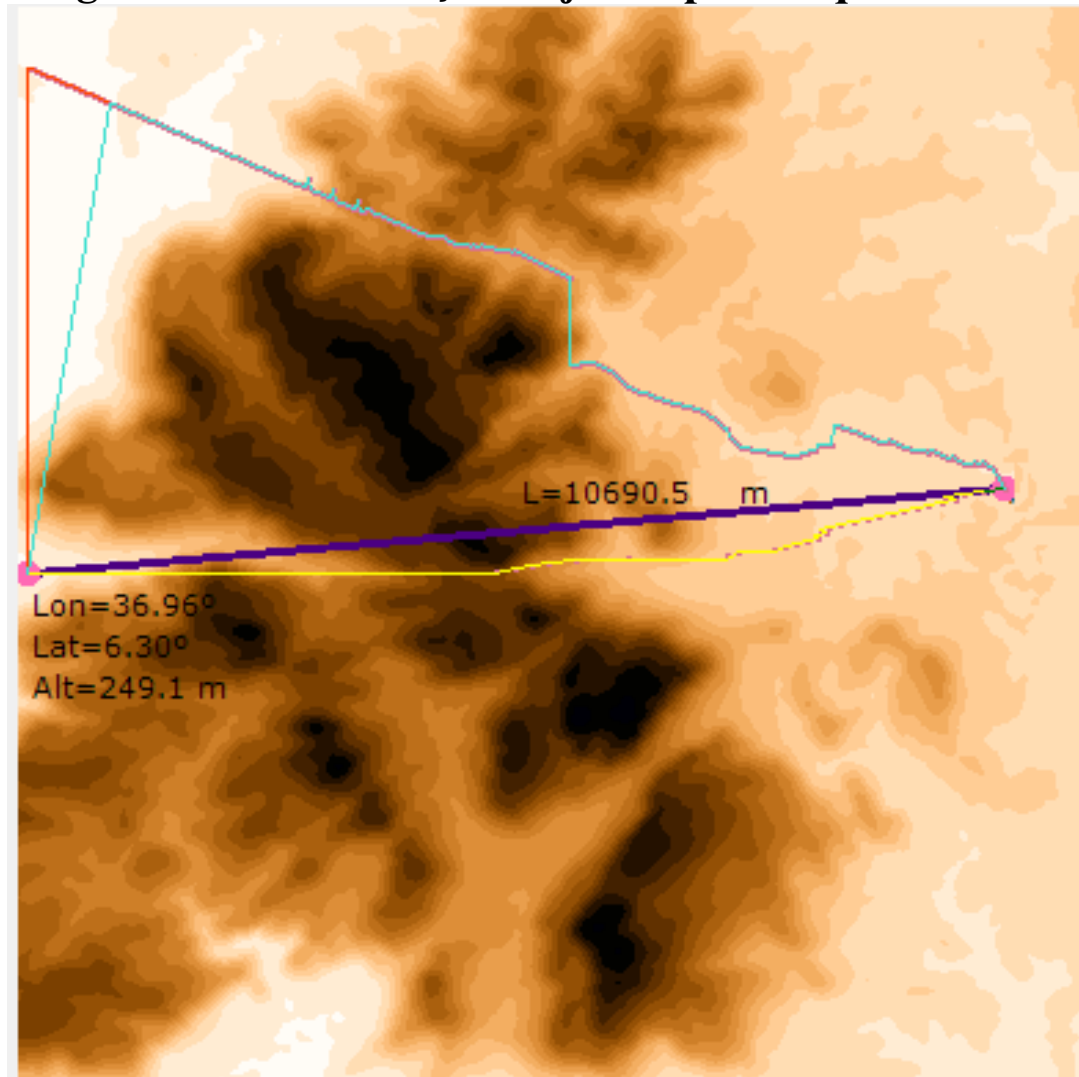


Figura 2 – Relevo e traçados obtidos para o exemplo de aplicação do algoritmo

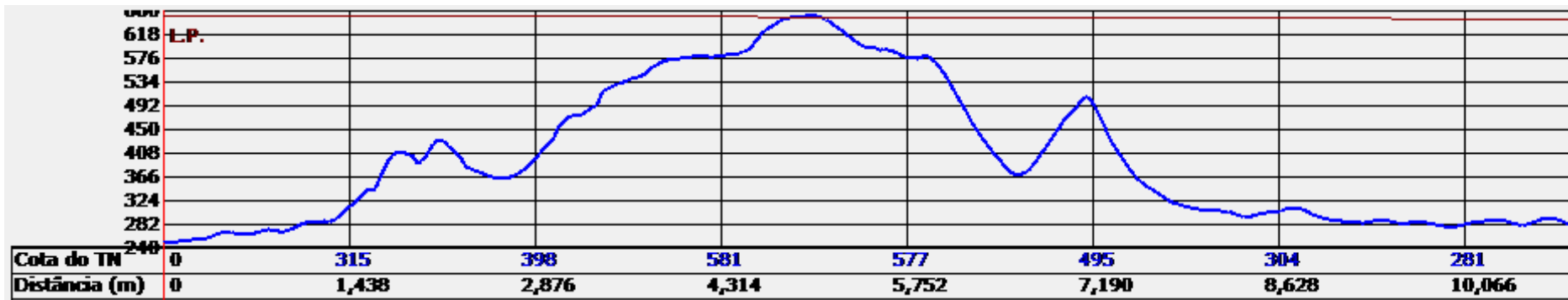


Figura 3 – Perfil topográfico do traçado em linha reta ligando A e B.

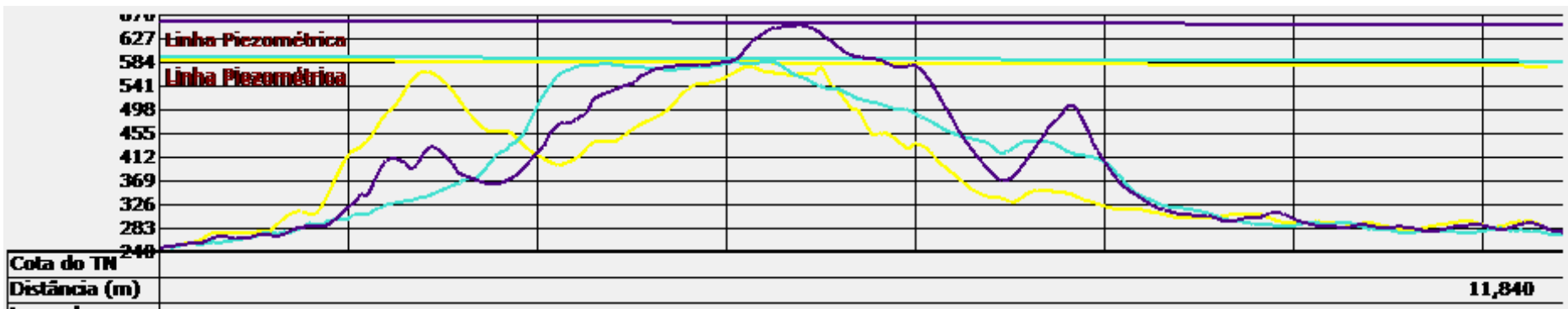


Figura 4 – Perfis comparativos e linhas piezométricas: Adutora reta (azul escuro), adutora da triangulação em x (amarela) e adutora da triangulação em y (magenta).

$\frac{\beta}{\alpha} = 21,6$ implica na viabilidade econômica de busca de soluções envolvendo bombeamento com alturas manométricas relativamente menores.

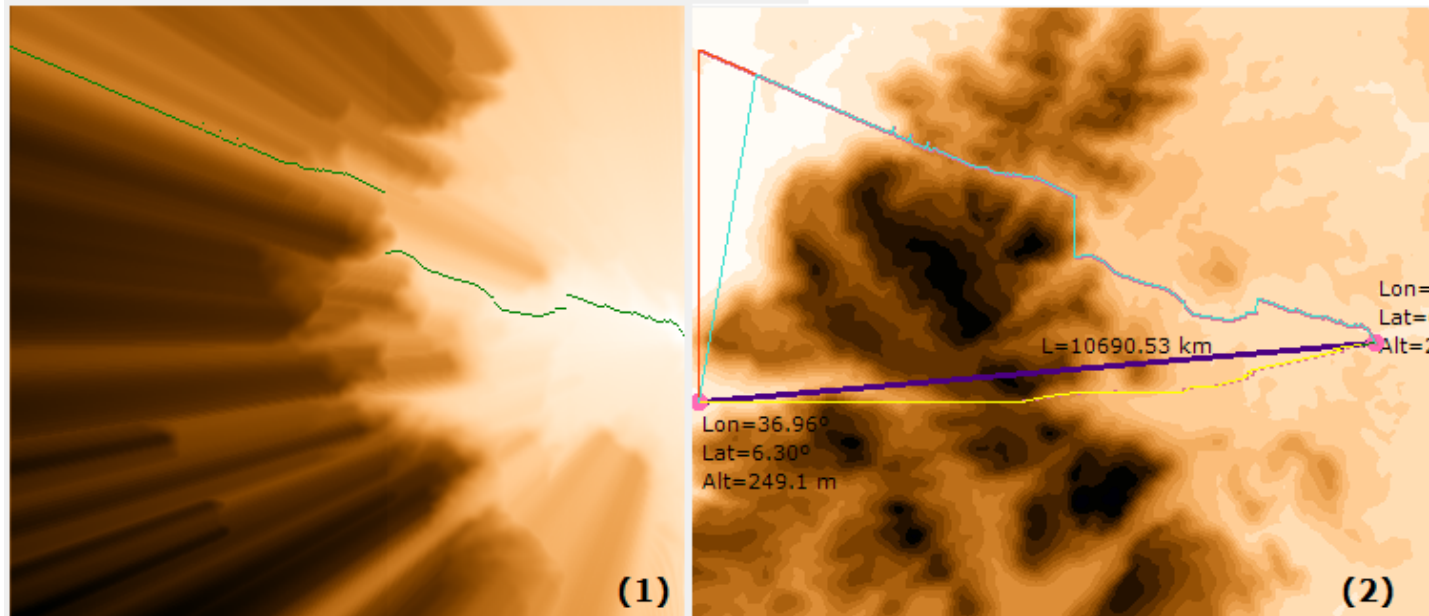


Figura 7: (1) Mapeamento da função objetivo (Dispêndio Anual) com indicação dos vales (verde); (2) Vales (magenta) sobrepostos à topografia.

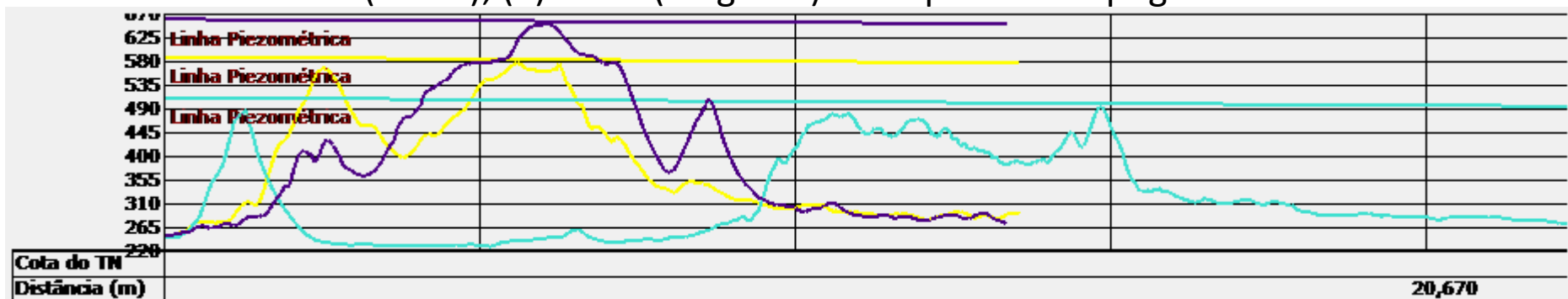


Figura 6: Perfis comparativos e linhas piezométricas: Adutora reta (azul escuro), adutora da triangulação em x (amarela) e adutora da triangulação em y (magenta), com função objetivo Dispêndio Anual.

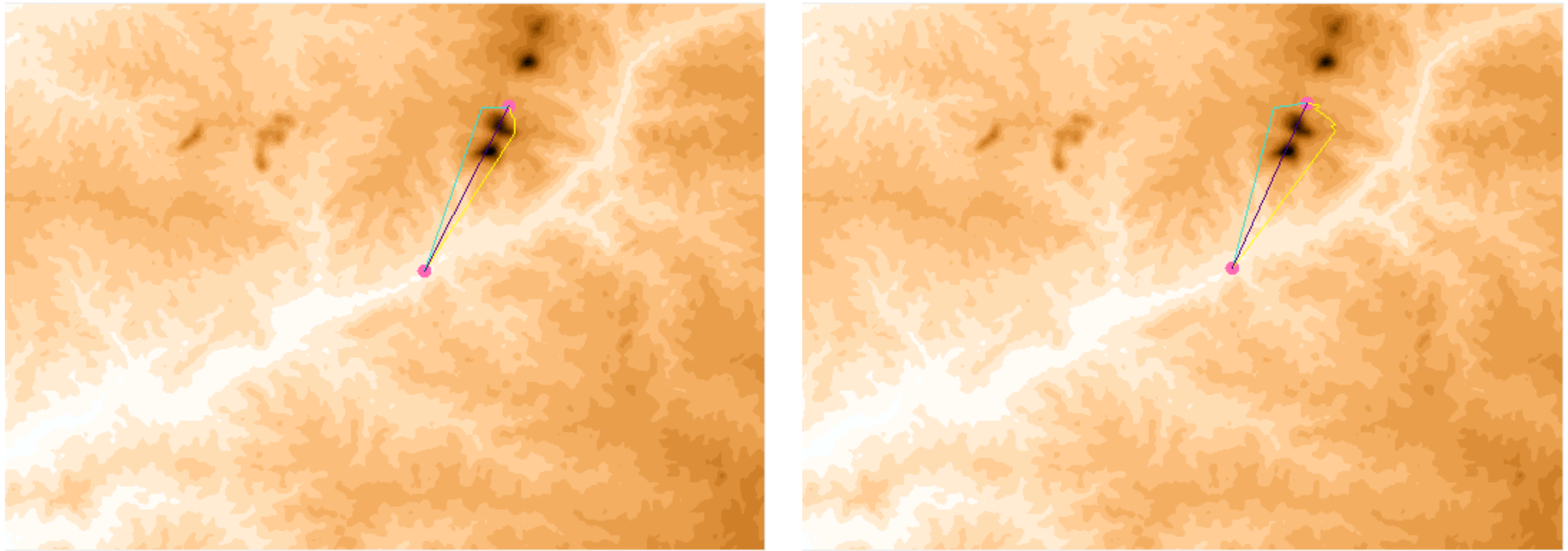


Figura 8: Resultado do algoritmo considerando $\alpha = \beta = 1$ (esquerda) e com $\frac{\beta}{\alpha} = 21,6$

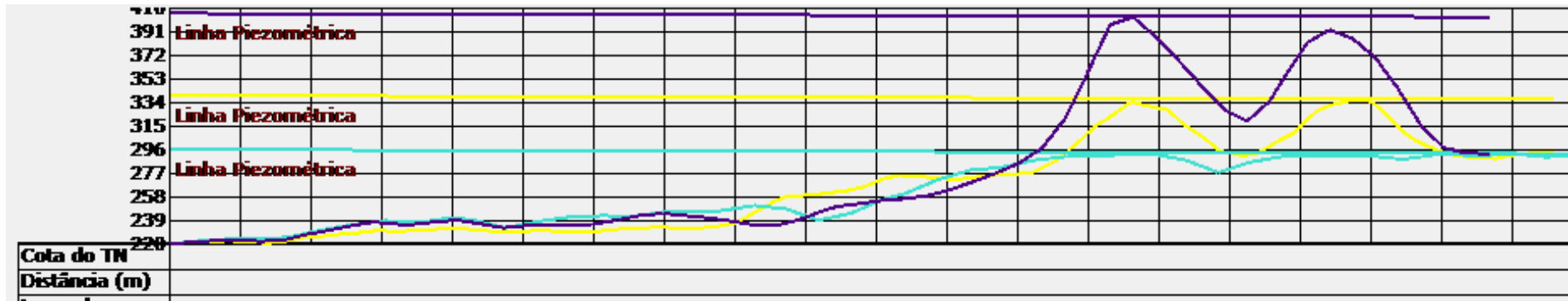


Figura 9: Perfis comparativos e linhas piezométricas: Adutora reta (azul escuro), adutora da triangulação em x (amarela) e adutora da triangulação em y (magenta), com função objetivo Dispêndio Anual.

4 – CONCLUSÕES

- O algoritmo metaheurístico apresentado representa uma **alternativa promissora** na investigação de traçados econômicos de sistemas adutores. Em particular, seu emprego torna-se **mais atrativo** nas situações em que as **condicionantes** que comumente limitam a flexibilidade do projetista **estão ausentes ou são insuficientes** para determinarem a rota de implantação da tubulação.
- O algoritmo foi formulado para tentar escapar das consequências maléficas da natureza “**gulosa**” que caracteriza boa parte dos procedimentos disponíveis na literatura, sondando **não apenas as células enfileiradas imediatamente a jusante do ponto presente de adução**, mas também **o perfil de pontos que levam diretamente do ponto sondado ao ponto de entrega da água**. Embora tal estratégia não garanta que, também da perspectiva futura, o passo adotado seja o ideal, parte das consequências indesejáveis da “gula” é eliminada.
- Por essa abordagem, os **custos de passagem** são **mapeados apenas segundo a orientação direcional dos dois lados do triângulo formado**. Com isso, para além da vantagem da retidão, tem-se o caráter metaheurístico do algoritmo a se evidenciar enquanto forma útil de escape ao **problema da dimensionalidade**, muitas vezes inelutável, mesmo dispondo dos processadores computacionais mais rápidos.
- Objetivando minimizar a rusticidade do mapeamento metaheuristicamente obtido, **o algoritmo** proposto **procede a triangulação** tanto na **direção x** como na **direção y**, valendo-se da premissa de que, se não é possível apreender algo de determinado e singular ponto de vista, **multiplicar a perspectiva da visada serve à uma aproximação mais realista na reconstituição da paisagem gráfica representativa da função objetivo adotada**.