A INFLUÊNCIA DAS PERDAS DE ÁGUA NA DEFINIÇÃO DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS DO CHILE

Alexandre Arruda Atalla[(1)]
Engenheiro Sanitarista e Ambiental Pleno (UCDB) e especialista em Gerenciamento de projetos (PUC-MG)
Bruno Ken Marchezepe[(2)]
Engenheiro Civil Júnior e mestre em Engenharia de Recursos Hídricos pela USP-São Carlos
Márcio Donizeti de Barros Júnior[(3)]
Cientista de Dados Pleno (UNITRI) e especialista em Ciência de Dados (Mackenzie)
Mário Augusto Bággio[(4)]
Engenheiro Civil Master (UEL), mestre em Engenharia Hidráulica (USP) e especialista em Sistemas de Gestão (Instituto Fleming).

Endereço[(1)]**:** Rua Quintino Bocaiúva, 1.051 – Vila Seixas – Ribeirão Preto - SP - CEP: 14.020-095 - Brasil - Tel: +55 (16) 3610-3069 - e-mail: contato@waterdb.com.br.

RESUMO

Os níveis de eficiência operacional do Chile se aproximam de 33,4% de água não faturada. A SISS, com o objetivo de reduzir este número, determinou que as empresas privadas de distribuição de água do Chile devem reduzir a ANF a pelo menos 15%. Para isso, foram calculados os Níveis Econômicos de Perdas (NEP) reais e aparentes para alguns sistemas de abastecimento. O NEP utiliza dados focados na realidade brasileira e não chilena. Este trabalho tem como objetivo responder a questões sobre o crescimento natural das perdas (NRR) e os componentes do NEP para o Chile. A metodologia deste trabalho baseia-se no Road Map® para a Formulação e Execução da Estratégia de Redução e Controle de Perdas/NRW. O Nível Econômico de Perdas, baseia-se no método desenvolvido por Wyatt (2010), adaptado para a realidade brasileira. Para adaptabilidade dos resultados para o Chile, serão utilizados BHs da IWA como base. A obtenção de parâmetros locais para o Chile é de suma importância para a obtenção de valores para o Crescimento Natural de Perdas e o Nível Econômico de Perdas, através de Alpha e Beta locais, pois isso gerará dados mais confiáveis e precisos. Recomenda-se, que as práticas preconizadas no Road Map® sejam seguidas.

PALAVRAS-CHAVE: NEP; ANF; Chile

INTRODUÇÃO

Atualmente, os níveis de eficiência operacional do Chile se aproximam de 33,4% de água não faturada - ANF (SISS, 2020). A SISS (Superintendência de Serviços Sanitários), com o objetivo de reduzir este número, determinou que as empresas privadas de distribuição de água do Chile devem reduzir a ANF a pelo menos 15% para que seus pedidos de reajuste e revisão tarifária possam ser remunerados, quando efetivas.

Perante o desafio, as operadoras privadas de água se reuniram para discutir uma forma mais técnica de definir um limite, um piso para a água não faturada. Para isso, foram calculados os Níveis Econômicos de Perdas (NEP) reais e aparentes para alguns sistemas de abastecimento no Chile. No entanto, durante a construção surgiram dúvidas sobre os componentes do Balanço Hídrico (BH) e NEP e o impacto do crescimento natural das perdas (NRR) no resultado.

O NEP utiliza dados e estudos de Wyatt et al. (2021), focados principalmente na realidade brasileira. O NEP "brasileiro" utiliza alfa e beta obtidos dos estudos da SANEPAR por regressão linear, utilizando o Índice de Perdas Lineares Brutas (m³/km.dia) local. O Paraná tem uma realidade diferente de qualquer outro estado do Brasil, e não será igual ao Chile, nem topograficamente, nem culturalmente, nem em termos de governança.

Este trabalho tem como objetivo responder a questões sobre o crescimento natural das perdas (NRR) e os componentes do NEP para o Chile, com o objetivo de ajudar a calcular os indicadores da forma mais confiável possível e adaptados à realidade chilena.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho baseia-se no Road Map® para a Formulação e Execução da Estratégia de Redução e Controle de Perdas/NRW, idealizado pela HWater com base na experiência e conhecimento de diversas empresas de saneamento no Brasil, em especial suas estratégias de controle de perdas.

Para tanto, foi criado um Roadmap®, com procedimentos formais que expressam cada etapa da estratégia, servindo de guia para os diferentes níveis de gestão (alta, média e baixa gerência). Iniciou-se uma estratégia inovadora, consubstanciada na máxima que preconizava que "Por mais difícil que pareça o problema das perdas em um SAA", sua solução poderia ser baseada em conceitos simples, buscando garantir disciplina por resultados, detalhadamente, conforme Figura 1, Figura 2, Figura 3, Figura 4 e Figura 5.

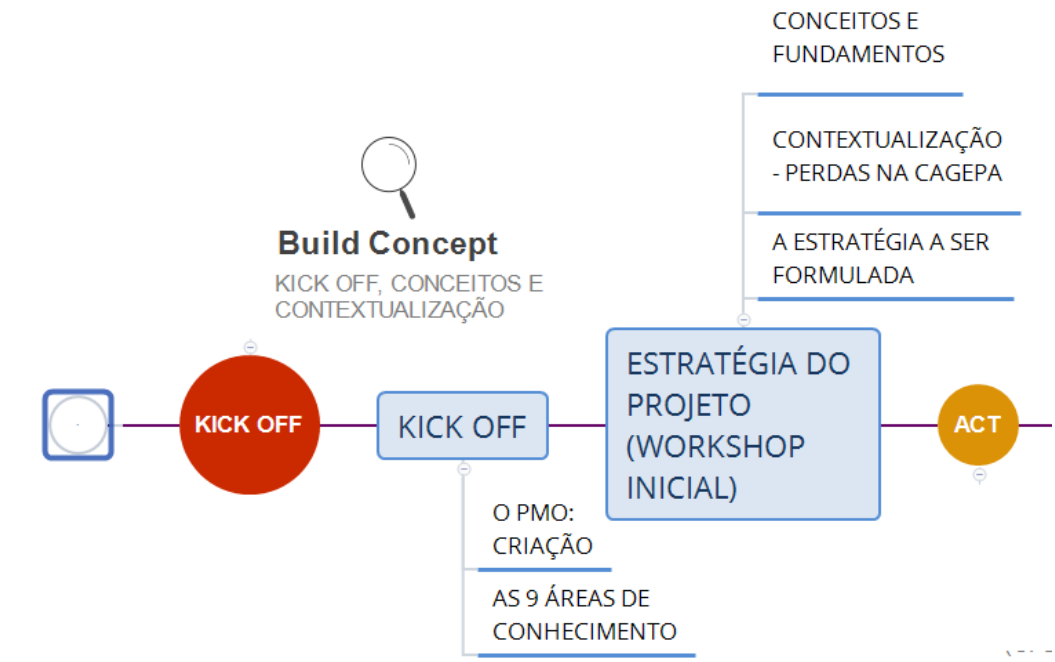


Figura 1. KICKOFF do Road Map® de controle de perdas / ANF

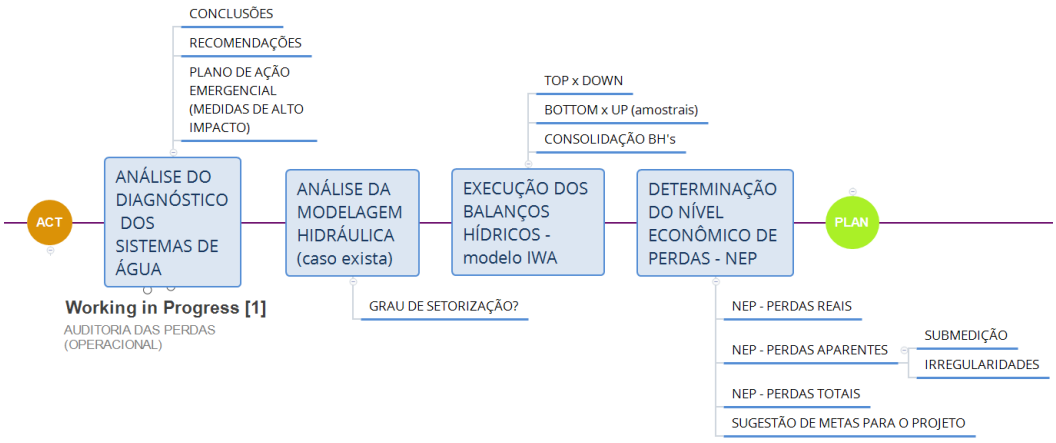


Figura 2. ACT do Road Map® controle de perdas / ANF

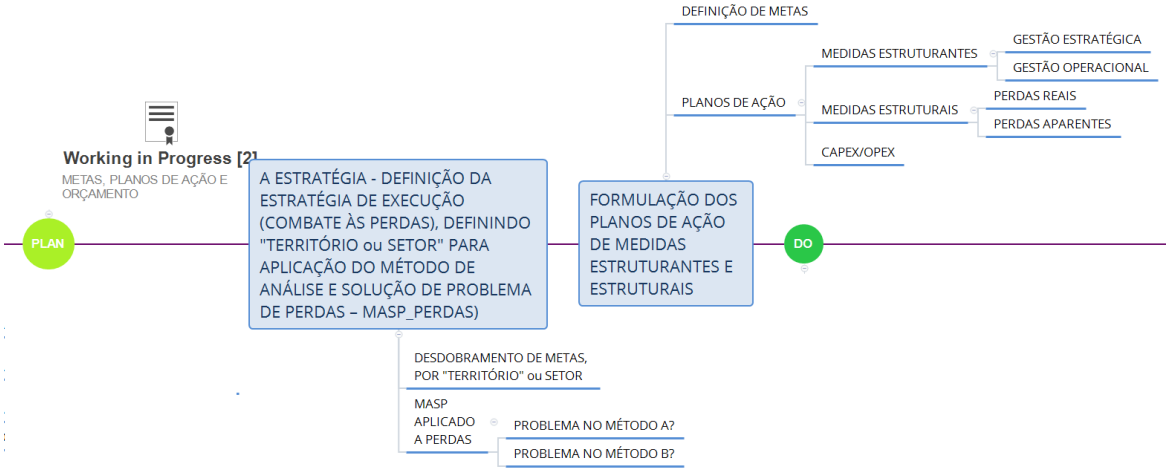


Figura 3. PLAN do Road Map® controle de perdas / ANF

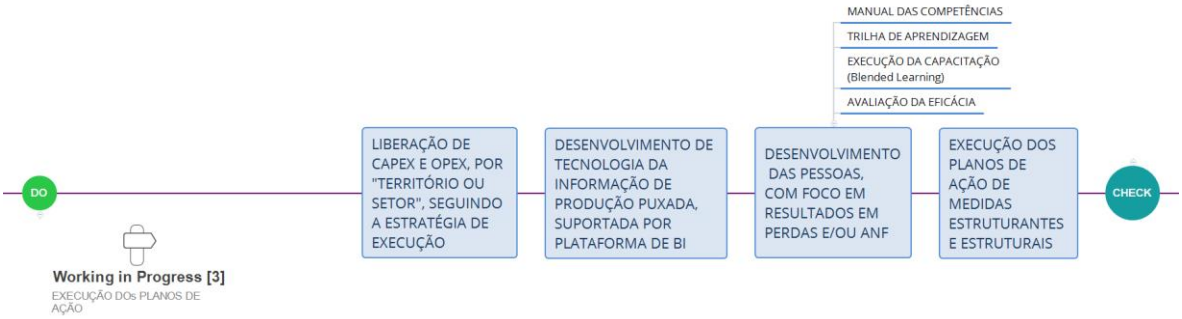


Figura 4. DO do Road Map® do controle de perdas / ANF

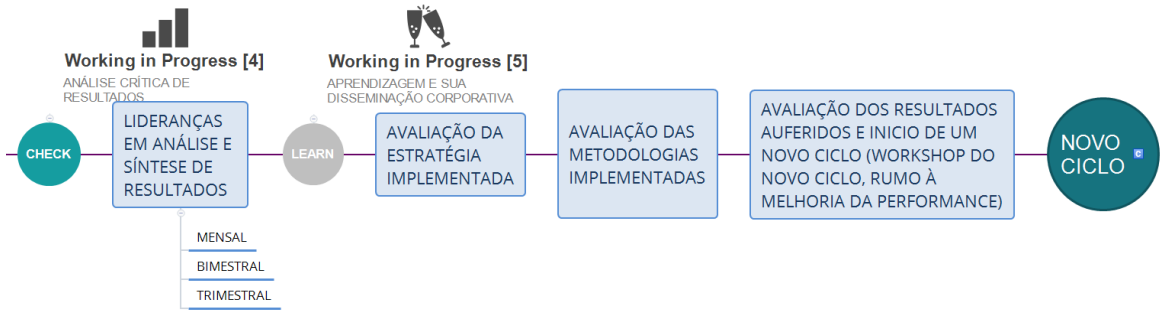


Figura 5 . CHECK do Road Map® do controle de perdas / ANF

O Nível Econômico de Perdas, baseia-se no método desenvolvido por Wyatt (2010), adaptado para a realidade brasileira por Cavaleiro, Rita e Wyatt, 2021. Tendo em vista a ampla aplicação do NEP nos sistemas chilenos, alguns conceitos e fundamentos serão revistos, lançando luz sobre a metodologia, em especial para a determinação de parâmetros relacionados ao NEP, alinhados com a realidade chilena e não brasileira ou norte-americana.

Para o Crescimento Natural das Perdas (NRR), o estudo será baseado em estudos de métodos de regressão linear de ESSBIO/NUEVOSUR (2022) e na relação Alpha e Beta do NEP (Wyatt et al., 2021) com o NRR para discussão e aplicação em sistemas de água potável no Chile.

Para a discussão sobre a confiabilidade dos dados e resultados das perdas reais e aparentes atuais para o Chile, serão utilizados como base os modelos IWA de Balanços Hidráulicos Top x Down e Bottom x Up, sendo este último consistente com o primeiro, considerando que a medida de Perdas Reais em campo proporciona maior confiabilidade do que sua estimativa aproximada nos Balanços Top x Down (Guia 06 AESBE, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

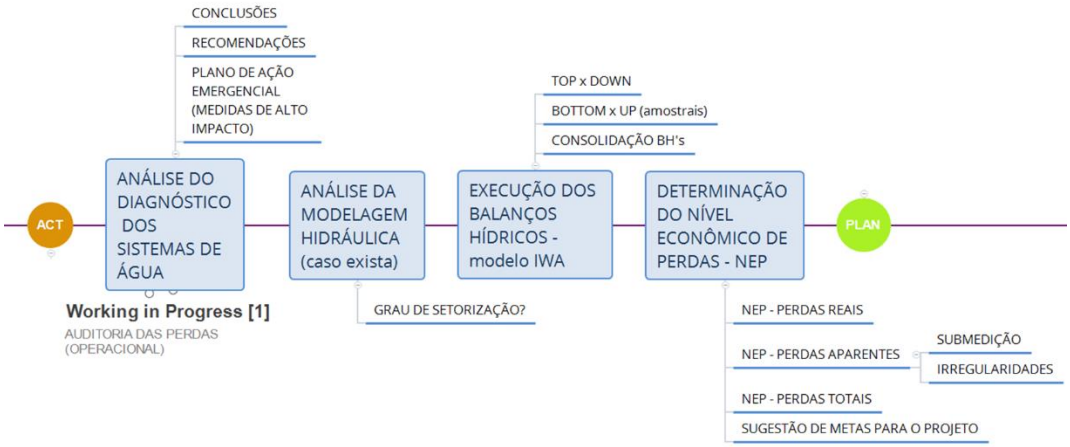


Figura 6. ACT do Road Map® do Controle de Perdas / ANF

O Road Map®, em sua etapa de AUDITORIA DE PERDAS (ACT), parte de uma Estratégia de Redução e Controle de Perdas/NRW em sistemas de água potável, demonstra que, para auditar perdas, é necessário analisar o diagnóstico completo dos sistemas e sua modelagem hidráulica, se houver. Na sequência, com o auxílio do diagnóstico e do modelo hidráulico, são construídos os balanços, visando tipificar as perdas em reais e aparentes, possíveis, quando aplicadas nos dois BHs, um constituído pela outro; De acordo com a IWA, não faz sentido prático construir balanços BH Top x Down, apenas. Os Balanços Bottom x Up determinam o ILI, a partir de extensas campanhas de campo (medições de vazões e pressões por pelo menos 48 horas), e assim ajustando os Balanços Top x Down; esta é a melhor prática. Por fim, com o Balanço Top x Down, determina-se o NEP, sugerindo, entre outras práticas, metas a serem alcançadas, resguardando os aspectos econômicos.

O BH Top x Down calcula as perdas totais, estima as perdas aparentes para determinar as perdas reais por subtração. No entanto, essa estimativa de fraude, clandestinidade e desvalorização precisa ser confirmada. Para isso, deve-se utilizar o BH Bottom x Up aplicado em amostras de DMCs, a partir de medições de campo, a fim de determinar as perdas reais, em L/lig.dia e o ILI (Infrastructure Leakage Index). Dada a confiabilidade da ILI, o balanço Top x Down é visitado ajustando-o com base em um indicador importante resultante das medições de campo. No entanto, esse equilíbrio depende do fator N1, que pode variar dependendo do tipo de material da rede de distribuição. N1 é usado para calcular o volume de vazamento por hora (VR).

$$Vazão\ de\ Perdas\ por\ Hora\ \left(\frac{m^3}{h}\right) =$$

$$Vazão\ de\ perdas\ na\ hora\ mínima\ noturna\ \left(\frac{m^3}{h}\right) * \left[\frac{Pressão\ média\ horária (mca)}{Pressão\ média\ na\ hora\ mínima\ noturna\ (mca)}\right]^{N1}$$

De acordo com o Guia 06 da AESBE (2015), o valor de N1 pode ser adotado ou calculado. No entanto, para se ter maior confiabilidade no resultado das perdas reais do BH Bottom x Up, recomenda-se o cálculo, utilizando o método abaixo:

$$N1 = \frac{Log\left(\frac{Vazão\ final\ de\ perdas}{Vazão\ de\ Perdas\ inicial}\right)}{Log\left(\frac{Pressão\ média\ da\ rede\ final}{Pressão\ média\ da\ rede\ inicial}\right)}$$

O teste de campo para obtenção de N1 deve ser realizado em um setor de distribuição estanque, com uma única entrada na qual uma válvula redutora de pressão está localizada. O setor deve ser bem pressionado e não ter oferta intermitente. De preferência, o ensaio deve ser efetuado no início do dia, de modo a não afetar o abastecimento e quando o nível de consumo for mínimo e puder ser conhecido por métodos de amostragem. As variáveis de cálculo devem ser medidas, nomeadamente a vazão de entrada e a pressão no ponto médio do setor. Como variáveis de controle, a pressão na entrada e a pressão no ponto crítico também devem ser medidas. As variáveis de controle servem para evitar que a manipulação da vazão dee entrada durante o teste cause um desabastecimento nas partes superiores do setor (Guia 06 AESBE, 2015).

Obtenção de N1 em setor de abastecimento ou DMC

Descrição	hora inicial	hora final	Pressão (mca)			Vazão na entrada (m³/h) (A)	Usos noturnos (B)	Volume de perdas reais (A-B)	Estimativa do valor de N1		
			Entrada	Ponto Médio	Ponto Crítico				Inicial	Estágio 1	Estágio 2
Condições iniciais	01:30		60	52,0	31,0	71,0	6,0	65,0			
Estágio 1	02:00	02:30	50	42,6	26,0	60,9	6,0	54,9	0,85		
Estágio 2	03:00	03:30	41	38,0	25,0	57,1	6,0	51,1	0,77	0,63	
Estágio 3	04:00	04:30	36	34,0	22,0	50,8	6,0	44,8	0,88	0,90	1,18
								N1 MÉDIO:	0,87		

Figura 7. Exemplo de obtenção do N1

Usando o exemplo na Figura 7, as seguintes etapas devem ser seguidas:

PASSO 1. Meça as variáveis de cálculo e controle, por exemplo, às 01:30 da manhã, para obter as condições iniciais Q0 e P0 (65 m³/h e 52 mca, respectivamente, no caso do exemplo).
PASSO 2. No estágio 1, a pressão na entrada é reduzida pela manobra lenta do VRP, para minimizar a possibilidade de causar golpe de aríete, o que poderia causar mais vazamentos (digamos 60 a 50 mca, como no exemplo da Figura 4). Uma vez concluída a manobra, a pressão média P1 (42,6 mca) e a vazão de perdas Q1 (54,9 m³/h) serão registrados nos minutos seguintes. Com as duas variáveis do Passo 1 e as duas variáveis do Passo 2, uma primeira estimativa de N1 já pode ser obtida.
Após alguns minutos de registro dos dados do estágio nos data-loggers, no estágio 2, o VRP é manobrado novamente, reduzindo a pressão de entrada para obtenção de um novo conjunto de dados (P2 e Q2 Esses dados, somados aos dados do estágio 1, permitem outra obtenção de N1. Substitua os dados do Estágio 1 pelos dados da condição inicial e a terceira determinação de N1 pode ser obtida. E assim sucessivamente até a fase 3.
Pensando nos próximos passos, a obtenção do N1 pode levar à obtenção das perdas inerentes e do volume de perdas lineares. Ou seja, podemos calcular o alfa da NEP a partir do resultado do BH Bottom x Up, correlacionar o índice de perdas lineares por regressão linear e ajustar o diagnóstico das perdas do BH Top x Down, buscando a maior confiabilidade possível dos dados. e estimativas. Isso demonstra a grande importância do cálculo desse balanço hídrico.

Falando especificamente da obtenção do Controle de Perdas Reais (CPR), componente do Nível Econômico de Perdas (NEP), é necessário que se calculem o Alfa e o Beta. Esses coeficientes são utilizados para inserir a base de perdas e vazamentos (reportados e não reportados) no cálculo dos Custos Reais de Controle de Perdas. Wyatt et al. (2021), pensando em adaptar esses coeficientes à realidade brasileira, construíram uma regressão linear para Alfa e Beta utilizando dados de 64 municípios da Sanepar (PR) e correlacionando-os com a IN050 - Índice de Perdas Lineares Brutas do SNIS (Sistema de Informações sobre Saneamento). Os resultados deste estudo encontram-se, então, na Figura 8 e Figura 9.

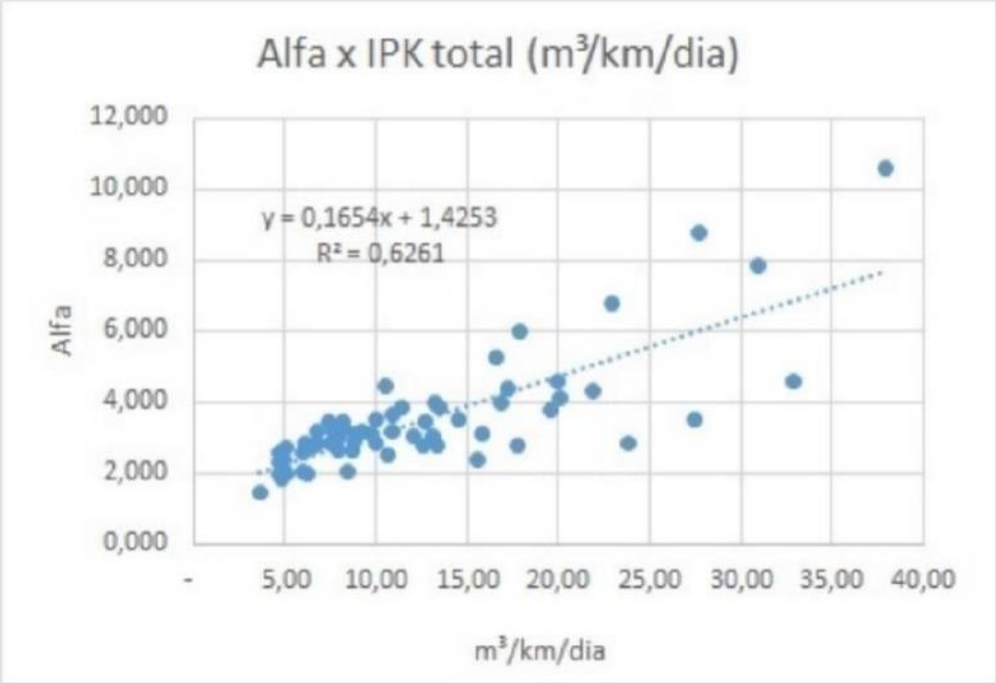


Figura 8. Alfa correlacionado com IN050

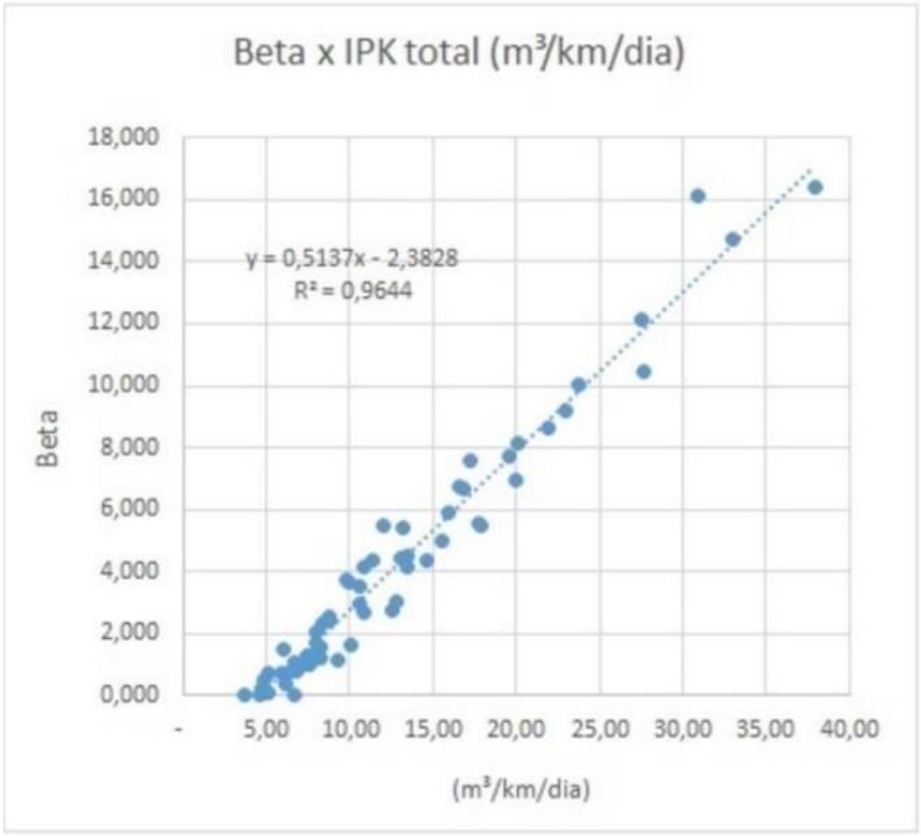


Figura 9. Beta correlacionado com IN050

Isso permitiu as seguintes fórmulas:

$$Alfa = 0{,}1654 * IN050 + 1{,}4253$$

$$Beta = 0{,}5137 * IN050 + 2{,}3828$$

Com isso em mãos, as empresas brasileiras puderam calcular os coeficientes com base em amostras locais. No entanto, o estado do Paraná tem uma realidade diferente de outros estados. Nem será igual à realidade chilena. Diante disso, Alpha e Beta também podem ser calculados usando dados e amostras do Chile.

Analisando a fórmula Beta, podemos adotar o estudo ESSBIO/NUEVOSUR (2022) para determinar o NRR (Natural Rate Rise of Leakage) combinando as equações:

$$Beta\ NEP = VNR = NRR$$

Adotando o método T3 e D3 como o melhor (ESSBIO/NUEVOSUR, 2022):

$$NRRd\ \left(\frac{m^3}{dia}\right) = a * (L * A)^{0,8} + b * N^{0,6} * p^{0,8}$$

$$NRRt\ \left(\frac{m^3}{dia}\right) = a * L^{1,2} * A^{0,8} + b * (N * P)^{0,6}$$

Onde:
- Extensão de rede (L)
- Número de ligações (N)
- Pressão média noturna (P)
- Interrupções de rede **(Tj)** - número de rompimentos, movimentos de válvulas, reparos etc.

NOTA: a e b devem ser obtidas por interpolação da % de materialidade existente no local do estudo utilizando dados do UKWIR (2009), contidos na Figura 10 e Figura 11

Material Cohort	Training dataset				Test dataset	
	DMAs	"a"	"b"	R^2%	DMAs	R^2%
AC	359	0.06069	0.1669	68.2	85	72.4
DI	91	0.02878	0.1686	66.8	17	77.6
Fe	1214	0.07916	0.1777	76.1	308	71.7
PE	78	0.27049	0.0977	62.7	15	66.8
PVC	53	0.11192	0.0764	62.2	11	74.1
Other	1459	0.11743	0.1507	70.7	380	70.0

Figura 10. a e b pela materialidade para T3

Material Cohort	Training dataset				Test dataset	
	DMAs	"a"	"b"	R^2%	DMAs	R^2%
AC	316	0.214	0.027	60.1	78	61.8
DI	86	0.275	0.025	52.2	16	77.5
Fe	1250	0.276	0.036	67.1	315	58.3
PE	127	0.306	0.029	50.0	31	77.5
PVC	47	0.219	0.017	64.9	11	53.1
Other	1367	0.191	0.032	57.5	364	50.2

Figura 11 a e b para materialidade para D3

Com isso, temos:

$$Beta\ NEP = VNR = \frac{NRRt\ T3}{Km\ de\ rede}$$

Assim, temos o Beta calculado para o Chile. Também podemos usar dados de campo como base para calcular o NRR, como Fantozzi y Wyatt (2005):

$$\mathrm{NRRt}\ \left(\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{dia}}\right) = \mathrm{VRec} + \mathrm{Vn}$$

Onde:
- Volume Recuperado de Vazamentos – VRec (Estima-se o volume recuperado da literatura)
- Volume de crescimento da Vazão Mínima Noturna - Vn

Este calcula o Beta para um determinado número de amostras e correlaciona o resultado com as perdas lineares brutas das amostras, que podem ser obtidas com o BH Bottom x Up, preferencialmente com o N1 calculado localmente.
A fórmula alfa é:

$$\alpha = VB + VR$$

Onde:
Volume de Perdas Base -VB (m³/Km/dia)
Volume de Perdas por Vazamento Relatadas (m³/Km/dia)

Para calcular o VB. Utiliza-se:

$$VB = Beta + Perdas\ Inerentes$$

O Beta já tem a solução, como demonstrado acima. Para Perdas Inerentes, podemos utilizar o BH Bottom x Up para obtenção do valor, conforme Guia AESBE 06 (2015). No entanto, o valor desse parâmetro pode ser obtido de acordo com o estudo de Airton Sampaio, por meio do Programa Reágua de Compra de Perdas Reais, patrocinado pelo Estado de São Paulo, financiado pelo BIRD (SANASA, 2012), com base nos métodos de Farley e Town (2003).

1ª Etapa: Deve-se escolher uma ou mais amostras de DMCs, com entrada única e estanque. É necessário que os medidores dos clientes da área escolhida tenham acesso total de madrugada (ou controle remoto) para poder realizar o estudo.
Passo 2: Meça a vazão noturna mínima do DMC com e sem consumo diário e, ao mesmo tempo, combata ativamente vazamentos no local até que não haja mais vazamentos.
Passo 3: Quando se atinge a menor vazão mínima noturna possível (Farley e Tow recomendam que a relação entre os fluxos com e sem consumo seja de <25%), o valor das perdas inerentes ao local é atingido medindo-se pela última vez o fluxo noturno mínimo sem consumo do medidor. A média ponderada é então calculada e extrapolada para o setor ou SAA.
Com isso, temos os valores de Beta e Perdas Inerentes calculados em campo, para a realidade chilena.
Voltando à fórmula Alfa, temos o volume de perdas de vazamento relatadas deixadas para a equação. Para obter esse valor, o volume de vazamentos deve ser estimado de acordo com o número de vazamentos, tipo de vazamento (rede ou ramal) e tempo médio de reparo. A abaixo mostra os padrões para o cálculo desse parâmetro usando dados da IWA (Lambert et al., 1999):

Infra-estrutura	Perdas Inerentes	Vazamentos relatados	Vazamentos não reportados	Perdas inevitáveis	Unidade
Rede	9,6	5,8	2,6	18	**L/Km Rede/dia/mca**
Ligações	0,6	0,04	0,16	0,8	**L/Ligações/dia/mca**
Ramais	16	1,9	7,1	25	**L/Km Ramal/dia/mca**

Tabela 1. Volume de vazamento por tipo de infraestrutura

Após a definição dos parâmetros Alpha e Beta, com a realidade chilena, valores mais confiáveis de NRR e NEP podem ser alcançados. Consequentemente, metas mais realistas para os sistemas de abastecimento de água do Chile. Além disso, o N1 local é de suma importância para adaptar os modelos a essa realidade.

Conclusões e recomendações

A obtenção de parâmetros locais para o Chile é de suma importância para a obtenção de valores para o Crescimento Natural de Perdas e o Nível Econômico de Perdas, através de Alpha e Beta locais, pois isso gerará dados mais confiáveis e precisos, o que permitirá análises mais precisas, principalmente no que diz respeito ao estabelecimento de objetivos de redução de perdas a serem alcançados.

A Auditoria de Perdas requer dados confiáveis e medições precisas, além de modelos hidráulicos calibrados, sem os quais os Balanços hídricos são inconsistentes, o NEP mal determinado e o NRR impreciso. Portanto, quanto mais aderentes à realidade chilena forem os parâmetros utilizados na Auditoria, mais confiáveis serão os Programas/Planos de Redução e Controle de Perdas, como resultado da etapa de planejamento (PLAN) do Roadmap®.

Recomenda-se, portanto, que as práticas preconizadas no Road Map® para a Formulação e Execução de Estratégias de Redução e Controle de Perdas/NRW sejam seguidas, na forma sistematizada em que se traça o caminho contra as perdas.

Referências

1. **AESBE** – Associação Brasileira de Empresas Estatais de Saneamento. Guias Práticos: Série Balance Hídrico. Brasília: 2015. https://aesbe.org.br/novo/guias-praticos-externa/
2. **Alan Wyatt, Rita Cavaleiro de Ferreira, Marcelo Dalcul Depexe, Fernando Finger, Daniel Manzi, Rebecca Mendes, Kalffman Schuch.** Pérdidas de água - Guia para determinar o nível econômico e objetivos de controle progressivo para municípios, reguladores e prestadores de serviços. Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável – ProEESA Componente 2 - Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água: fase 2, GIZ Brasil. 2021
3. **ESSBIO-NUEVOSUR**. Crecimiento Natural de las perdidas (NRR). Dpto Gestión de Redes. Océano. 2022.
4. **Fantozzi, Lambert**. RECENT ADVANCES IN CALCULATING ECONOMIC INTERVENTION FREQUENCY FOR ACTIVE LEAKAGE CONTROL, AND IMPLICATIONS FOR CALCULATION OF ECONOMIC LEAKAGE LEVELS. IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance Rethymno, Greece, 8-10 July 2005.
5. **Lambert A, Brown TG, Takizawa M, Weimer** D.,1999. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. AQUA., Dec 1999. ISSN 0003-7214
6. **M. Farley, G. Wyeth, Z. B. Md. Ghazali, A. Istandar, S. Singh.** The Manager's Non-Revenue Water Handbook: A Guide to Understanding Water Losses. USA. 2008
7. Farley, M., & Trow, S. Losses in Water Distribution Networks: A Practitioners' Guide to Assessment, Monitoring and Control. Water Intelligence Online, 4(0). 2003. doi:10.2166/9781780402642
8.
9. **SANASA**. PROGRAMA REÁGUA, CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS REAIS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO. DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. CAMPINAS: 2011.
10. **SISS** – Superintendencia de Servicios Sanitarios – Informe de Gestión del Sector Sanitario. Chile: 2020
11. **UKWIR**. United Kingdom Water Indrustry Research. Factors affecting the natural rate 11 frise of leakage. 2009
12. **Wyatt A. S**. Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries. RTI International, Research Triangle Park, North Carolina,USA: RTI Press. 2010.