

**4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

**CATEGORIA 3**

**SISTEMA DE DRENAGEM DE PLATAFORMA EM POLIPROPILENO EXPANDIDO**

**INTRODUÇÃO**

O presente projeto tem por objetivo propor novas soluções em drenagem de plataforma e obras de infraestrutura para via permanente, com bases em tecnologias associadas ao uso de Geocompostos, bem como materiais poliméricos como o polipropileno. O projeto também irá englobar o estudo de viabilidade de produtos que por ventura possam substituir as metodologias já existentes no mercado para a construção de canaletas em concreto, como o uso de sistemas celulares em Polipropileno em substituição do concreto armado tradicional. É importante ressaltar que o objetivo central e incentivador da elaboração do projeto em questão é a redução dos custos de manutenção (OPEX) e os custos de implantação de novas obras (CAPEX), visando segurança e velocidade de execução.

O projeto foi desenvolvido em parceria com as empresas Plura Composites e CivilsNet, com sedes em Wallasey - Reino Unido e Wrightsville Beach – EUA, respectivamente.

**DIAGNÓSTICO**

**Definição da Seção de Projeto**

Para definição das dimensões da canaleta em polipropileno utilizou-se como premissa o método Racional para definição da vazão de projeto, com a necessidade de uma seção que atendesse pelo menos 3000 metros de comprimento crítico e 24 metros de largura de implúvio, tem-se assim área de contribuição para o método racional de 0,072 Km<sup>2</sup>, vazão de projeto de 1,01 m<sup>3</sup>/s.

O dimensionamento de valeta e canaletas na ferrovia era feito de maneira empírica, onde não havia análise de precipitações locais para definir as dimensões das mesmas. Com a utilização de equações e parâmetros obteve-se valores mais reais, assim diminuiu-se retrabalhos, otimizou-se mão de obra e materiais.

Utiliza-se na infraestrutura da FCA, os métodos automatizados desenvolvidos pelo departamento de Engenharia de Via Permanente, e para canaletas e valetas o padrão do DNIT de drenagem, para comprimento críticos.

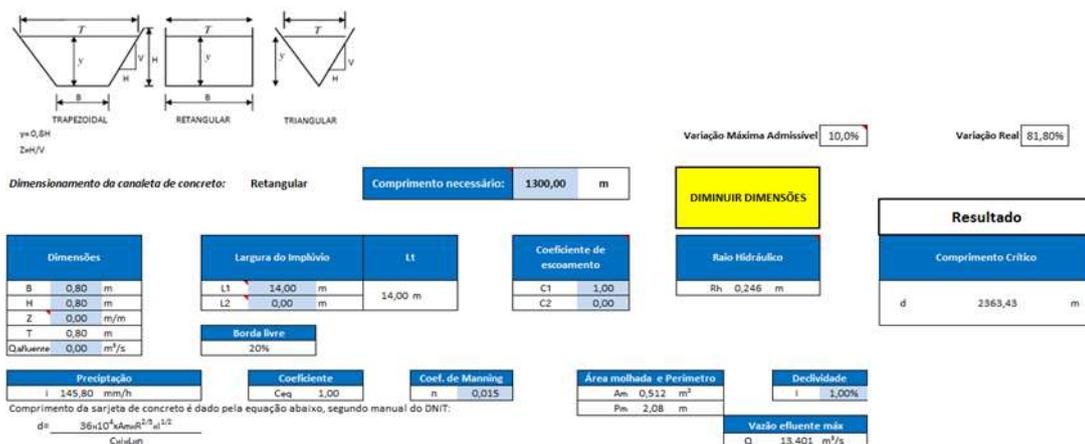


Figura 1 – Automatização dos dimensionamentos de sistemas de drenagem

### Critérios e metodologia para dimensionamento de canais

Segundo o Eng. R. Manning (1897) há três tipos básicos de canais:

- Canais revestidos

- Canais não revestidos e
- Canais gramado

O escoamento em galerias, canais e sarjetas devem ser calculados pela fórmula de Manning, onde se calcula a velocidade e uma vez que já temos o comprimento obteremos o tempo de escoamento da água de chuva também chamado tempo de trânsito (Travel Time).

A fórmula mais conhecida para dimensionamento de condutos livres usada no Brasil e nos Estados Unidos e demais países de língua inglesa, é a fórmula experimental do engenheiro irlandês R. Manning (1816-1897) elaborada em 1891.

É impressionante que grandes obras de canais e rios são feitas baseadas na fórmula de Manning e um dos motivos é que é mais fácil estimar a rugosidade de Manning do que a fórmula de Darcy-Weisbach. Existem muitas medições e aferições do uso do coeficiente de Manning de maneira que uma pessoa experiente pode com relativa facilidade escolher o valor adequado para cada caso.

Na Europa geralmente é usada a fórmula de Strickler, que segundo Chaudhry (1993) é similar a fórmula de Manning. Por definição a FCA usa essa metodologia de cálculo, sendo a fórmula de Manning para qualquer seção de canal ou tubulação a seguinte:

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Sendo:

V = velocidade média na seção (m/s);

N = coeficiente de Manning tem as dimensões TL  $-1/3$ ;

R = raio hidráulico (m). O raio hidráulico é o quociente entre a área molhada e o perímetro molhado;

S = declividade (m/m). A inicial "S" vem da palavra inglesa Slope que quer dizer declividade.

#### ▪ A Fórmula de Maning-Strickler

Conforme Lencastre, 1983, na Europa é usada a fórmula de Manning-Strickler que é a seguinte:

$$V = K_s \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Onde  $K_s = 1/n$ .

Portanto,  $K_s$  é o inverso de "n". O número  $K_s$  também tem dimensões  $L^{1/3}/T$ .

Existem tabelas que fornecem o valor do coeficiente de Strickler  $K_s$ .

Chin (2000) alerta sobre os cuidados que devemos proceder ao aplicar a equação de Manning. Ela deve ser aplicada somente para regime turbulento e somente é válida quando:

$$n^6 (R \cdot S)^{0,5} \geq 1,9 \cdot 10^{-13}$$

Foram definidas como premissas de cálculo que a canaleta de projeto deveria atender os seguintes dados:

$Q = 1,01 \text{ [m}^3/\text{s]}$  → Vazão de projeto para uma área de contribuição de  $0,072 \text{ km}^2$ ;

$b = 0,55 \text{ [m]}$  → Adotada como base mínima de uma canaleta, facilitando a limpeza mecanizada (concha padrão de uma retroescavadeira é  $40 \text{ cm}$ );

$h =$  Valor a ser definido [m];

$K_s = 1/0,01 \rightarrow n = 0,01$  (Rugosidade Manning para o material polipropileno);

$S = 0,01 \text{ [m/m]}$  → Declividade de 1% da via, sendo um valor médio e compatível com a realidade topográfica da nossa via.

$$\frac{Q}{(b \cdot h)} = K_s \cdot \left( \frac{b \cdot h}{b + 2h} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1,01}{(0,55 \cdot h)} = 100 \cdot \left( \frac{0,55 \cdot h}{0,55 + 2h} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot 0,01^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 0,56 \text{ m}$$

Definida a seção padrão para a canaleta de polipropileno sendo 55 x 60 cm (bxh) e recalculando a sua nova vazão para 1% de declividade:

$$\frac{Q}{(0,55 \cdot 0,6)} = 100 \cdot \left( \frac{0,55 \cdot 0,6}{0,55 + 2 \cdot 0,6} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot 0,01^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 1,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para as demais declividades encontradas na FCA foi calculada a tabela abaixo:

**Tabela 1 - Declividade x Vazão para canaletas em polipropileno seção tipo 55 x 60 cm (bxh)**

I (m/m)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0,50%	0,768
0,75%	0,941
1,00%	1,087
1,25%	1,215
1,50%	1,331
1,75%	1,438
2,00%	1,537
2,25%	1,630
2,50%	1,718
2,75%	1,802
3,00%	1,882
3,25%	1,959
3,50%	2,033
3,75%	2,105
4,00%	2,174

4,25%	2,241
4,50%	2,305
4,75%	2,369
5,00%	2,430

## Desenvolvimento da canaleta em Polipropileno Celular – *VLI Drainage Trough*

O conceito de utilização de uma canaleta pré-moldada para drenagem de plataformas não é novo, no entanto existem poucas soluções no mercado existentes. Porém, a ampla abertura (550 mm), os requisitos de profundidade (600 mm) e a necessidade de não usar aterro estrutural (ex. base em concreto) para reforçar as unidades são novas exigências e assim sendo necessário o desenvolvimento de um novo produto.

A CivilsNet™ desenvolveu um produto chamado *FORTIS Cable Duct*, que consiste em uma calha feita de polipropileno reciclável usada para a acomodação de cabos de energia e de transmissão, porém, de seção reduzida. Essa inovação tecnológica serviu como insight para o desenvolvimento de uma canaleta de grande porte, como a descrita, para que a mesma fosse usada como dispositivo de drenagem.

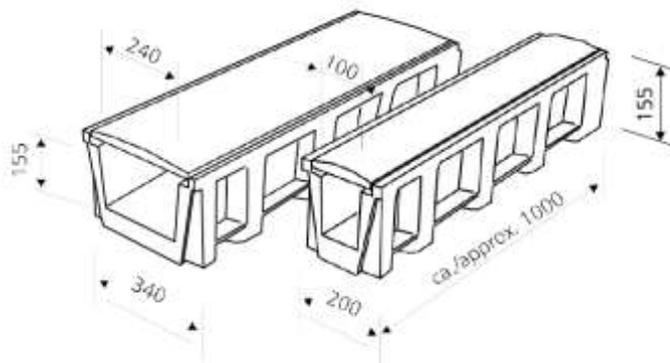


Figura 2 - FORTIS Cable Duct Dimensions (CivilsNet™)

Como premissas básicas para o desenvolvimento da VLI Drainage Trough foram levadas em conta dois dados:

- O peso de uma peça não poderia ser maior que 25 kg, podendo assim ser manuseada por um único colaborador;
- O custo unitário de cada peça deveria estar situado na faixa comercial entre R\$180,00 a R\$220,00 (esse valor será exemplificado posteriormente no item 4);

A análise de custo inicial baseada na faixa proposta foi realizada para determinar o máximo de volume de material (peso) que poderia ser utilizado no produto, sendo esse o elemento com a maior margem de contribuição no custo variável do produto final. Implicações adicionais sobre o dimensionamento da máquina injetora de polipropileno, em especial a exigência no processo de conformação da peça também precisaram ser considerados, tendo em vista que o peso projetado inviabilizaria o processo de berços de moldagem.

Foi também adotada como base normativa a NBR 8890/07 - Tubo de Concreto Armado de Seção Circular para Esgoto Sanitário, na qual define que a resistência a compressão lateral de uma canaleta tipo meia-cana de 600 mm não deve ser menor que 24 kN.

Durante a análise, ficou clara a limitação em relação custo-benefício do design do produto com a exigência de conformidade com a NBR 8890 e sua resistência a carga lateral mínima de 24kN. Essa resistência é exigida por norma, pois, considera-se que essas peças serão empilhadas em algum momento, tendo seu peso próprio sobreposto sobre outras peças.



**Figura 3 - Canaletas tipo meia-cana 600 mm posicionadas em canteiro.**

Considerando que o peso próprio de uma canaleta meia cana de 600 mm é de aproximadamente 157 Kg e considerando o peso adotado como premissa para o projeto de no máximo 25 Kg, verifica-se que esse critério exigido pela norma NBR 8890 não se faz necessário.

Sendo assim foi realizada simulação de carga e pressão sobre o solo lateral a canaleta, utilizando como base um veículo simulador de 20 kN (equivalente a escavadeira de médio porte) posicionado ao lado do elemento.

Os cálculos foram realizados no GEO5 2016 – Earth Pressures, tendo como inputs de dados os seguintes parâmetros para o solo:

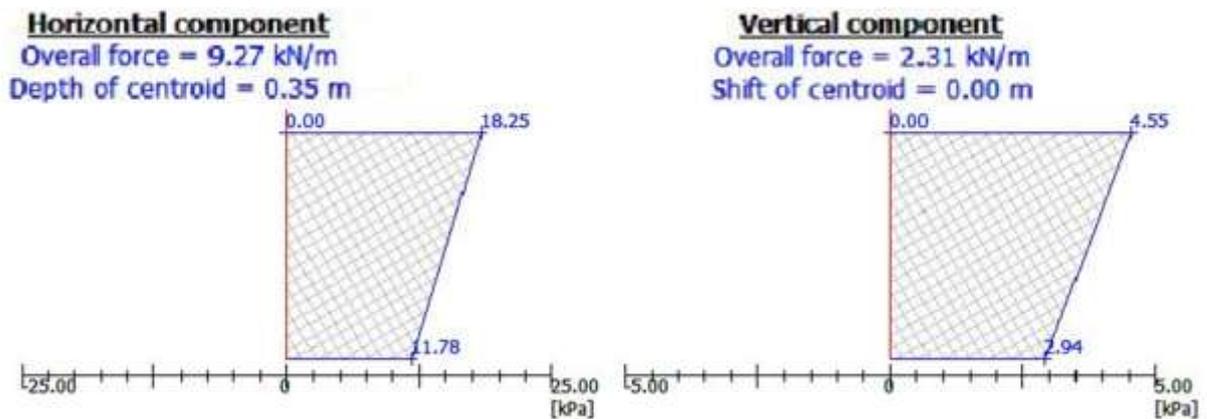
$\gamma = 20 \text{ [kN/m}^3\text{]} \rightarrow$  Densidade seca do solo;

$\gamma_{\text{sat}} = 20,50 \text{ [kN/m}^3\text{]} \rightarrow$  Densidade saturada do solo;

$\phi_{\text{ef}} = 32^\circ \rightarrow$  Ângulo de atrito interno das partículas (típico das argilas arenosas);

$c_{\text{ef}} = 10,00 \text{ [kPa]} \rightarrow$  Coesão do solo;

$\delta = 14^\circ \rightarrow$  Ângulo de atrito estrutural dos grãos;



**Figura 4 - Resultados das pressões resultantes de um veículo de 20 kN (GEO5 2016).**

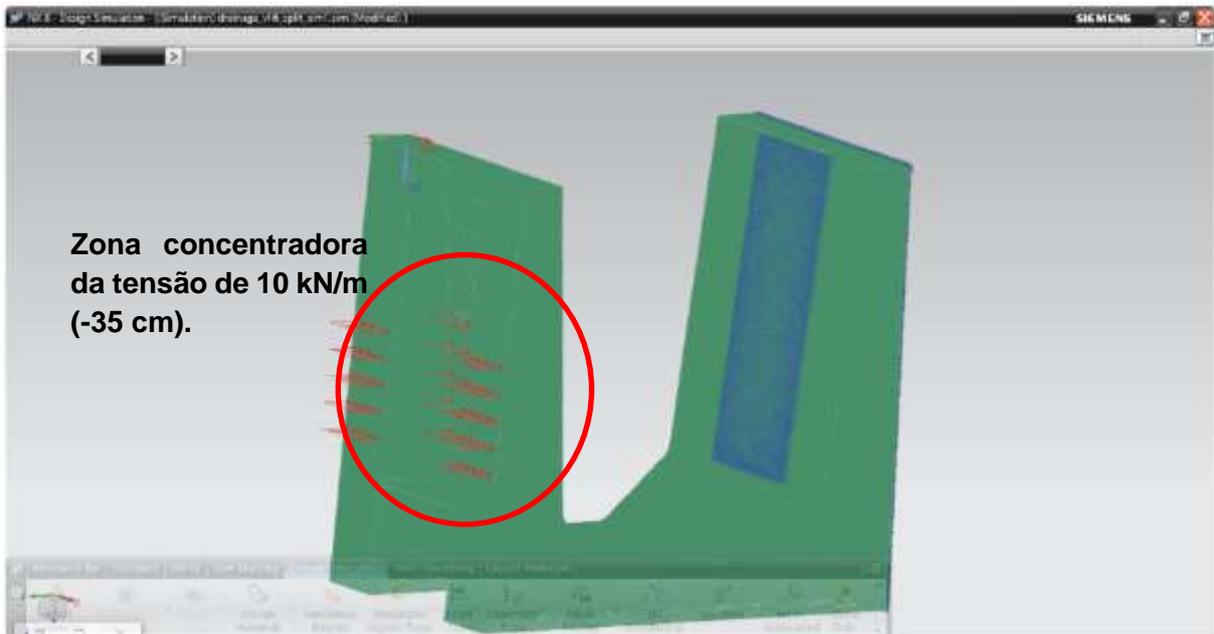
A análise resultou em um valor de 9.27 kN/m de carga total com o centro de gravidade da carga à 350 mm de atuação abaixo da superfície superior. Para estudo dos elementos finitos da peça foi usada uma carga de 10 kN/m com centro de gravidade à 350 mm.

### **Análise dos Elementos Finitos (FEA)**

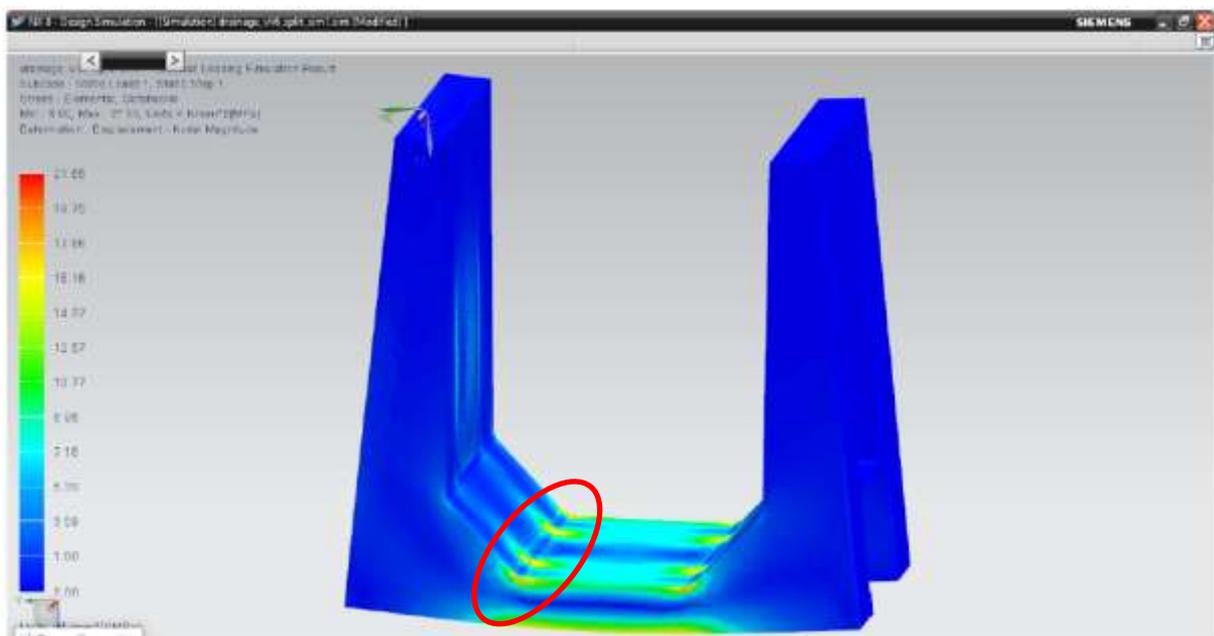
Para a definição da composição do polímero (composite thermoplastic) foi estudada a melhor forma de conformação da peça. Para isso levou-se em consideração o know-how da CivilsNet já empregado na confecção das peças FORTIS™.

Definiu-se então o uso de um polipropileno composto de 20% de talco (80% PP + 20 % Talc), definido como TFPP (Talc Filled Polipropilene). Este material é usado em câmaras FORTIS™ e oferece um bom módulo de flexão (3 GPA), boa resistência ao escoamento (30 MPA), baixa densidade (1,05 g/cm<sup>3</sup>), redução da retração linear, baixo custo e boa disponibilidade. O talco atuará como agente nucleante do polímero aumentando a sua fluidez e seu aspecto final. Dessa composição polimérica (TFPP) se possibilita que o modo de conformação da peça seja por injeção direta. Comercialmente falando, esse modo confere maior produtividade, reduzindo os custos diretos na confecção de cada peça.

Os aditivos também podem ser utilizados para melhorar o desempenho de fogo e impacto (necessário a baixas temperaturas).



**Figura 5 - Input de dados no FEA Analysis (NX 8)**

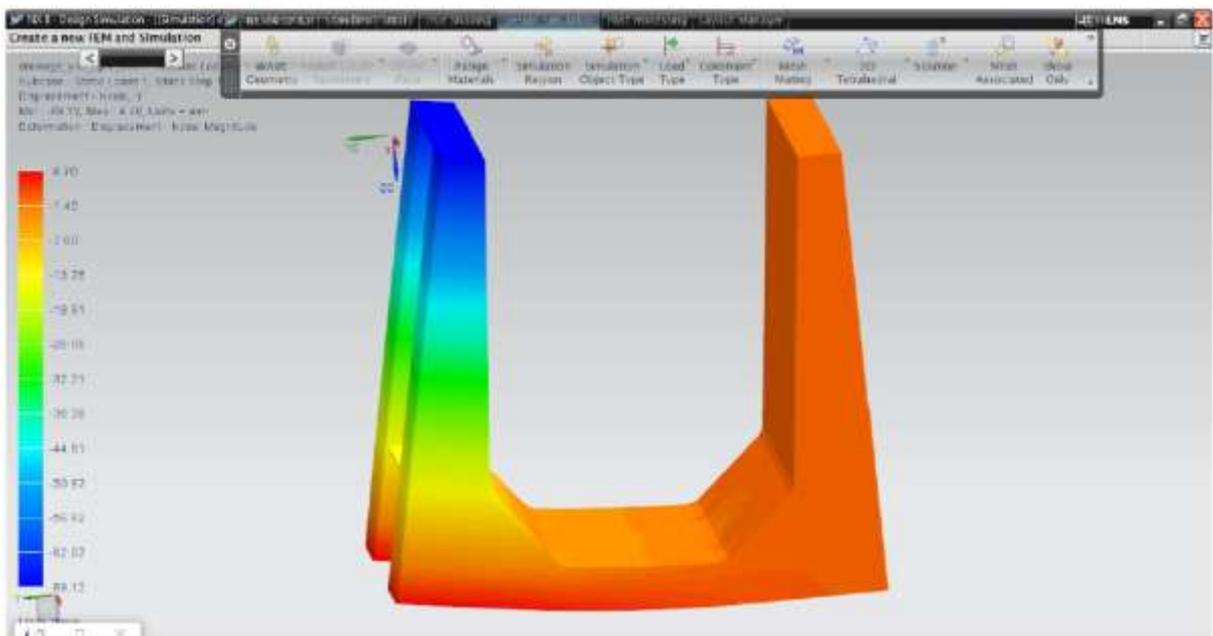


**Figura 6 - Ponto de maior fragilidade da estrutura na aplicação de carga mencionada (NX 8)**

A análise dos elementos finitos (FEA) foi realizada em uma seção da parte, isto é, na estrutura da costela principal (ponto de maior estresse), que foi capaz de suportar esse

estresse e sem ruptura. Foi aplicada uma força de 10 kN/m, em uma área de 200 mm<sup>2</sup> a 35 cm de profundidade, sendo esses valores majorados a 100% do fator de segurança da peça. Nesse caso o maior deslocamento lateral da peça em relação ao seu eixo torçor foi de 12%.

Foram aplicadas iterações da análise FEA, usando espessuras de nervura diferentes para determinar o stress, deslocamento e comportamento do material. Os resultados compuseram uma tabela de tomada de decisão com a solução mais otimizada levando em consideração Custo x Resistência x Peso.

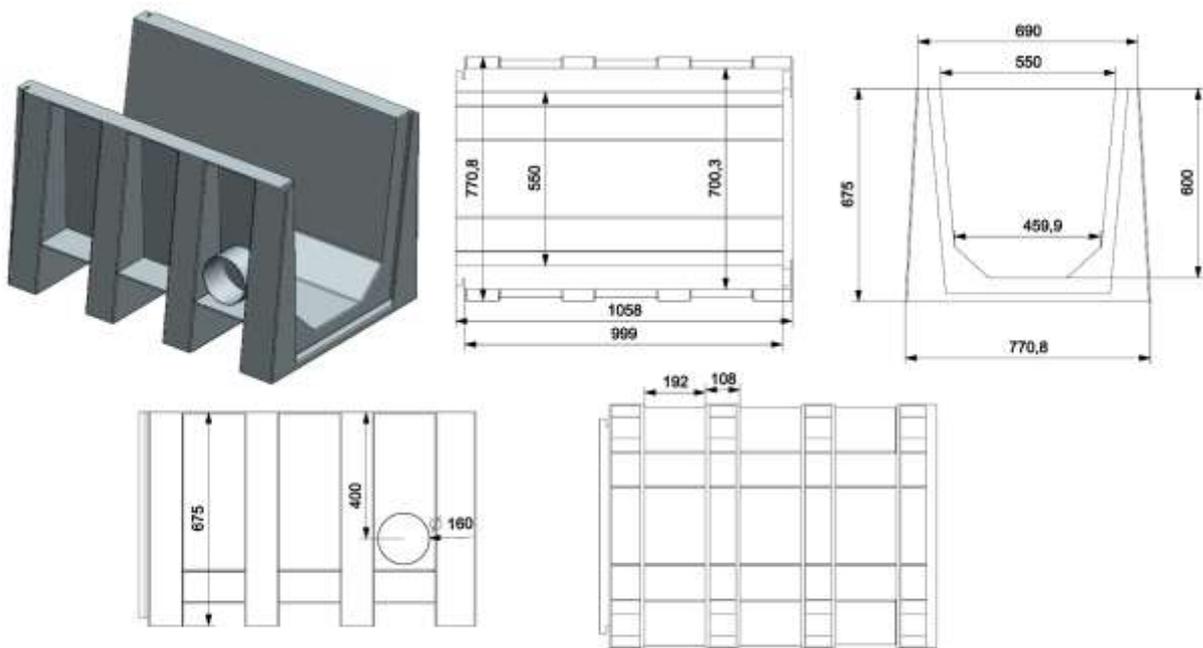


**Figura 7 - Gráfico térmico de estresse na peça, indicando pontos de maior solicitação (NX 8).**

Definiu-se então uma peça com nervura tipo costela, chanfrada na sua base e espessura de 4 mm. Foi adicionada também um *pin-hole* de 160 mm na sua parede lateral, ponto pré-marcado e que poderá ser destacado para a inserção de tubo corrugado em PEAD, fazendo conexões com a drenagem subsuperficial a ser aplicada na via. Nessas configurações a peça final terá 19,5 kg.

### **Design Proposto – VLI Drainage Trough**

Após as análises realizadas nos softwares GEO5 e NX 8 e verificadas a excelência do material, foram propostas melhorias no formato da peça, ajustando a necessidade ferroviária e conferindo o melhor desempenho possível.



**Figura 8 - Dimensionamento da VLI Drainage Trough**

Principais pontos propostos na melhoria do design:

- Módulos de encaixe no formato macho-fêmea;
- Costelas estruturais exercem a função de pás de ancoragem, conferindo a possibilidade de aplicação em vias com inclinação de até 5% (para inclinações maiores que 5% será necessária a aplicação de “Earth nails”);
- Inserção de um pin-hole pré-definido em cada uma das paredes, a uma profundidade de 40 cm. Esse detalhe possibilitará a conexão direta com sistemas de drenagem subsuperficiais (espinhas de peixe), evitando situações como as conferidas na Figura 14 abaixo e conferindo um excelente artifício para drenagens pontuais, como em regiões de AMV;

- Possibilidade de instalação de tampas em regiões de pátio e entrevistas (opcional);



**Figura 9 - Espinha de peixe na região do AMV - Pátio de ZMG.**

- O desenho em forma de V chanfrado, foi desenvolvido para drenar a água a uma maior velocidade, melhorando o efeito de autolimpeza do canal. A sua seção otimizada, maior que as seções em V existentes tradicionalmente no mercado, proporciona uma capacidade hidráulica superior em grande volume de água.

### **Confecção e instalação das peças protótipo**

Para a análise e conferência do design proposto, foram encomendadas 10 peças protótipos que serão analisadas pelo time da engenharia antes da concepção do produto final. A instalação das peças protótipos ocorreram na obra de expansão do Pátio Ferroviário de Araxá – MG. As peças protótipo são compostas do mesmo material definido em projeto, o TFPP (20% Talco + 80% Polipropileno), porém, sua densidade nessa etapa de confecção é de cerca 15% maior que o material projetado.

Essa discrepância no peso final se dá pelo método de confecção da peça, neste caso, realizado por câmaras de moldagem onde o material será vertido e aguardará a secagem. Para a produção em escala, como mencionado, iremos utilizar o método de injeção direta. Nesse método, parte do material é misturado com o ar criando microbolhas que diminuem a

densidade final, sem prejudicar a suas propriedades físicas e mecânicas. Esse processo é o que define a característica “alveolar” ao polipropileno.



**Figura 10 – Confeção das peças protótipo.**



**Figura 11 - Peça protótipo confeccionada**

Durante o processo de instalação das peças protótipo verificamos algumas premissas adotadas, como:

- Velocidade de execução;
- Peso e manejo da peça;
- Qualidade executiva final;
- Aspecto da peça;



**Figura 12 – Instalação das peças protótipo em Araxá - MG.**

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **Comparativo Financeiro**

Atualmente os projetos de drenagem de plataforma da VLI são projetados usando os itens de concreto, fôrma e aço. Dessa forma para a seção defendida como base desse projeto, retangular de 60 por 55 cm, serve como base comparativa de custos inerentes a sua execução.

### **Canaleta convencional em concreto, fôrma e aço.**

Tomamos como premissas executivas que a seção será executada seguindo os passos tradicionais desse tipo de obra. Será escavado o material (solo argilo-arenoso de boa compactidade) evitando seções discrepantes com a projetada, será regularizada a sua base com pó de pedra adensada, posteriormente teremos a sua armadura com espaçadores posicionados seguindo com a concretagem da base.



**Figura 13 - Vala escavada, com base regularizada e armadura posicionada**

Após cura do concreto (24 h), será posicionada as fôrmas internas, seguindo com a concretagem das paredes, aguardando cura (48 h) e procedendo com a desforma.

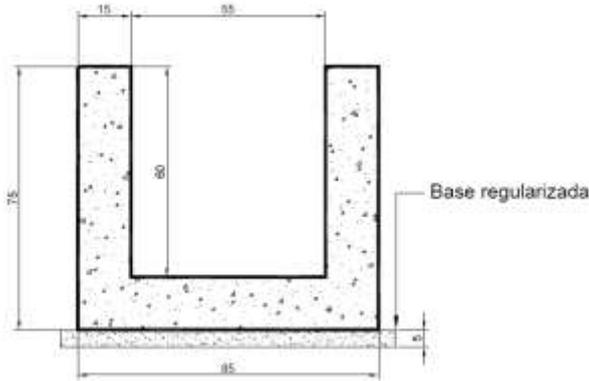


**Figura 14 - Base concretada, com fôrmas internas posicionadas e posterior concretagem das paredes**

Uma canaleta convencional em concreto, fôrma e aço deverá seguir as seguintes especificações para que possa desempenhar o a sua função garantindo qualidade construtiva:

- Concreto estrutural com fck mínimo de 20 Mpa;
- Fôrma em madeirite plastificado;
- Aço CA-50 de acordo com a taxa de armadura projetada;

- Escavação mecanizada de material de 1º e 2º categoria;
- Base regularizada;



**Figura 15 - Seção projetada (cm)**

- **Cálculo do volume de concreto estrutural fck 20 Mpa**

Considerando o preenchimento total da seção dimensionada e uma taxa de abatimento e perdas na ordem de 5% devido a irregularidades da vala escavada, temos:

$$Vol_{concreto} = (0,75 + 0,55 + 0,75) \times 0,15 \times 1,05 = 0,33 \text{ m}^3 / m$$

- **Cálculo da fôrma em madeirite plastificado**

Considerando a execução sem fôrma perdida, onde é necessário somente a escavação da vala com a regularização das paredes e aplicação de fôrma na face interna da seção:

$$Área_{fôrma} = 1,2 \text{ m}^2 / m$$

- **Cálculo da taxa mínima de armadura**

A armadura é composta por armadura longitudinal, resistente às tensões de tração provenientes da flexão, e armadura transversal, dimensionada para resistir aos esforços cortantes, composta por estribos verticais no lado externo da seção e estribos e barras dobradas no lado interno da seção.

Tomaremos como base de cálculo uma taxa mínima de armadura, baseado nas indicações técnicas aplicadas usualmente nesse tipo de construção, tendo em vista que o GEO5 Earth Pressures nos retornou um esforço lateral na ordem de 10 kN/m.

$$A_{s,min} = 0,15\% \cdot A$$

$$A_{s,min} = 0,0015 \cdot (85 \cdot 75 - 60 \cdot 55) \cdot 15 = 4,61 \text{ cm}^2$$

$$12 \Phi 7 \text{ mm} = 4,62 \text{ cm}^2$$

$$\Phi 7 = 0,302 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total } N_1 = 3,624 \text{ kg/m}$$

- **Comprimento dos estribos**

Definidos também como diâmetro mínimo dos estribos fios com seção de 5 mm<sup>2</sup>.

$$N_2 \Phi 5 \text{ c}15 \text{ cm} = 235 \text{ cm}$$

$$N_3 \Phi 5 \text{ c}15 \text{ cm} = 271 \text{ cm}$$

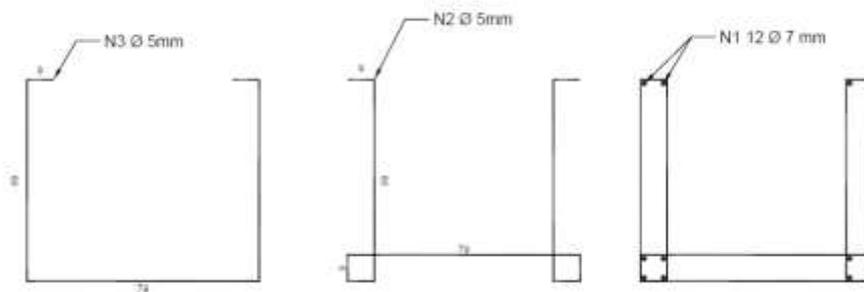
$$N_2 + N_3 \Phi 5 \text{ c}15 \text{ cm} = 506 \text{ cm}$$

$$\Phi 5 = 0,154 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total } N_2 N_3 = 5,19 \text{ kg/m}$$

- **Peso total da armadura por metro**

$$\text{Total } N_1 N_2 N_3 = 8,82 \text{ kg/m}$$



**Figura 16 - Comprimento das armaduras dimensionadas**

- **Escavação mecanizada de material de 1º e 2º categoria**

Como premissa, adotaremos que a escavação mecanizada de material de 1º e 2º categoria terá um grau de empolamento de 30%, dado comumente usados em execuções desse item, já sendo considerados os transportes até 5 km e o espalhamento do material.

$$Vol_{escavação} = 0,85 * 0,75 * 1,3 = 0,83 \text{ m}^3/\text{m}$$

- **Regularização da base com pó de pedra (bica corrida)**

É usado para esse serviço o item de aterro compactado, calculado pelo volume geométrico final da camada, considerando uma altura média de 5 cm:

$$Vol_{compact} = 0,95 * 0,05 = 0,05 \text{ m}^3/\text{m}$$

- **Peso estrutural por metro linear**

$$Peso = (0,85 * 0,75 - 0,60 * 0,55) * 2400 = 738 \text{ kg/m}$$

**Quadro de custos para a construção de 1 metro linear de canaleta em concreto armado, seção 55x60 cm – Contrato FCA93075**

Como base de parâmetros de análise financeira, tomaremos como exemplo os custos fornecidos pela RCA Construtora Ltda., que no ano de 2016 foi responsável pela execução da obra do Km 472/474 – ZUB.ZQQ.

Os preços unitários retirados do QQP da obra em questão estão alinhados com os preços praticados no mercado e foram validados pelo time de contratação do Suprimentos.

**Tabela 2 - Custos contrato 93075 para 1 m.l de canaleta**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	CONTRATO - 93075		
			QUANT.	PREÇO ATUAL (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
1	Fornecimento e aplicação concreto 20 Mpa	m³	0,33	R\$ 712,65	R\$ 235,17
2	Fornecimento e aplicação de fôrma	m²	1,20	R\$ 117,17	R\$ 140,60
3	Fornecimento, corte, dobra e aplicação aço CA-50	Kg	8,82	R\$ 14,02	R\$ 123,66
4	Escavação mecanizada em material de 1ª e 2ª categorias	m³	0,83	R\$ 42,71	R\$ 35,45
5	Reaterro compactado	m³	0,05	53,76	R\$ 2,69
<b>SOMA</b>				<b>R\$</b>	<b>537,57</b>

Temos então, baseado nos custos fornecidos pelo contrato 93075, que o custo unitário para a execução de 1 metro linear de canaleta em concreto armado, atendendo as premissas defendidas no projeto, seria de R\$ 537,57 / m.l.

### **Proposta de custos para canaletas em polipropileno celular**

Levando em consideração a seção desenvolvida na primeira etapa de pesquisa do projeto, temos a necessidade de especificar a composição de custos englobados na execução de uma unidade. Sendo assim, em conjunto com o Eng. Walter Neves, foi escrita a seguinte especificação técnica:

***“Instalação de sistema de drenagem polimérico de canaleta para drenagem de plataforma em peças modulares de 600mm (Altura) x 550mm (largura) x 1000mm (comprimento) com transporte incluso”***

“O fornecimento do sistema polimérico de canaleta para drenagem de plataforma em peças modulares será de responsabilidade da FCA.

O item em questão, engloba a escavação em solo de 1ª categoria na seção definida em projeto, sendo essa não menor que a seção da própria peça, montagem do sistema e recompactação do solo lateral em uma faixa de 40 cm para cada lado, utilizando placa vibratória ou soquete manual, atingindo os requisitos mínimos de CBR=95%, em local a ser definido pela CONTRATANTE.

Todos os equipamentos, as máquinas e operadores da CONTRATADA deverão passar pela FISCALIZAÇÃO da FCA, atendendo as normas de segurança da FCA e NR's vigentes.

Inclui-se a este item a carga das canaletas, descarga, montagem do sistema, recompactação lateralmente ao sistema e espalhamento do material de bota-fora em local adequado a uma distância de até 5 km.

#### CRITÉRIO DE MEDIÇÃO:

O item será medido por metro linear finalizado, após check da FISCALIZAÇÃO, estando sua declividade e instalação corretas e de acordo com projeto executivo.”

### **Composição de custos para a instalação de 1 m.l de canaleta em polipropileno celular**

Baseada na especificação técnica proposta e utilizando dados de composição de custos retirados do Compur 90, relativos a atividades a serem executadas para a entrega do produto final, temos:

**Tabela 3 - Composição de custos para instalação da canaleta em polipropileno celular**

COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE PREÇOS				UNITÁRIO	
Descrição	Tipo	Unidade	Custo Unitário	Qtd.	Subtotal
<b>Instalação de Canaleta em Polipropileno Celular, incluindo transporte e bota-fora.</b>					
	<b>U.M.</b>	<b>LINHA:</b>	<b>U.M. R\$</b>	<b>1,00000</b>	
Ajudante	Mão de Obra	h	R\$ 21,39	0,10000	R\$ 2,14
Pedreiro	Mão de Obra	h	R\$ 23,91	0,01000	R\$ 0,24
Retroescavadeira - de pneus (56 kW)	Equipamento	h	R\$ 100,00	0,05000	R\$ 5,00
<b>Transporte, Lançamento e Espalhamento de Material Escavado até a distância de 5 km</b>					
	<b>Serviço</b>	<b>m³</b>		<b>0,83000</b>	
Caminhão Basculante, 162Hp, 6M3 - 12T	Equipamento	h	R\$ 150,00	0,09800	R\$ 14,70
Ajudante	Mão de Obra	h	R\$ 21,39	0,02055	R\$ 0,44
Pedreiro	Mão de Obra	h	R\$ 23,91	0,00685	R\$ 0,16
<b>Compactação lateral a uma faixa de 40 cm para cada lado GC 95% do PN (h=25 cm)</b>					
	<b>Serviço</b>	<b>m³</b>		<b>0,32000</b>	
Ajudante	Mão de Obra	h	R\$ 21,39	0,75000	R\$ 16,04
Pedreiro	Mão de Obra	h	R\$ 23,91	0,50000	R\$ 11,96
Compactador Manual - soquete vibratório - placa vibratória (2 kW)	Equipamento	h	R\$ 21,48	0,01000	R\$ 0,21
<b>CUSTO DIRETO TOTAL (A+B+C+D)</b>					<b>R\$ 50,89</b>
<b>BDI</b>					<b>35,0%</b>
<b>PREÇO COM BDI</b>					<b>R\$ 68,71</b>

Portanto, podemos concluir que o preço alvo a ser fornecido ao time de Suprimentos em negociações com possíveis executantes é de R\$ 68,71 por metro linear instalado.

### **Comparativo de custos entre os dois processos executivos**

Baseado no custo de produção de uma peça de polipropileno, fornecido previamente pelo fabricante CivilsNet™ e conforme adotado nas premissas de iniciais de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, estando este entre R\$ 180,00 e R\$ 220,00 por peça produzida e somando aos custos de instalação de acordo com a composição de custos apresentada, no pior cenário, temos:

**Tabela 4 - Custos para a execução de 1 m.l. de canaleta em PP.**

ITEM	CUSTO
Canaleta em polipropileno celular seção 600 mm x 550 mm x 1000 mm	R\$ 220,00
Instalação do sistema de canaleta em polipropileno celular	R\$ 68,71
<b>Total</b>	<b>R\$ 288,71</b>

Avaliando os custos envolvidos entre os dois processos executivos, podemos concluir uma redução de 46,3% no custo final.

### **Comparativos entre metodologias executivas**

A metodologia de *Lean Manufacturing*, traduzível como manufatura enxuta ou manufatura esbelta, e também chamado de Sistema Toyota de Produção é uma filosofia de gestão focada na redução dos sete tipos de desperdícios (super-produção, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimento e defeitos). Eliminando esses desperdícios, a qualidade melhora e o tempo e custo de produção diminuem.

Dentre os pontos chaves do *Lean Manufacturing* podemos citar os três abaixo, que possuem relação direta com o projeto:

- **Minimização do desperdício** - eliminação de todas as atividades que não têm valor agregado e redes de segurança, otimização do uso dos recursos escassos (capital, pessoas e espaço);
- **Melhoria contínua** - redução de custos, melhoria da qualidade, aumento da produtividade e compartilhamento da informação;
- **Flexibilidade** - produzir rapidamente diferentes lotes de grande variedade de produtos, sem comprometer a eficiência devido a volumes menores de produção.

Sabe-se que grande parte dos desvios de cronograma em obras se dão pelo excesso de etapas necessárias para que se atinja um produto final. Esses desvios, como comentado, são os norteadores de grande parte do projeto em questão e podem ser caracterizados de acordo com a metodologia *Lean Manufacturing*, mais precisamente com os critérios de *Melhoria Contínua*, como os exemplos de desperdícios a seguir:

- **Tempo de espera** – O tempo necessário para que o concreto atinja o seu ponto de cura;
- **Excesso de processamento** – São necessárias várias repetições da atividade de montagem de fôrma para que se atinja uma produção diária satisfatória;
- **Transporte** – Alto custo energético aliado a necessidade do transporte e bombeamento de concreto até a frente de serviço;

### **Cronologia executiva de uma canaleta em concreto armado**

Para toda obra convencional é criado um esquema cronológico das etapas de execução. Como exemplo e comparativo, tomaremos a suposição da necessidade de execução de 100 metros lineares de uma canaleta retangular em concreto armado, com seções de 60x55 cm.

Baseado nos dados levantados no item 4.1 teremos os seguintes consumos e itens usados:

**Tabela 5 - Itens envolvidos na execução de 100 metros de canaleta em concreto armado**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.
1	Fornecimento e aplicação concreto 20 Mpa	m <sup>3</sup>	33,00
2	Fornecimento e aplicação de fôrma	m <sup>2</sup>	120,00

3	Fornecimento, corte, dobra e aplicação aço CA-50	Kg	882,00
4	Escavação mecanizada em material de 1ª e 2ª categorias	m³	83,00
5	Reaterro compactado	m³	5,00

Como premissas de contrato e facilidade executivas, é definido que:

- O Aço usado já seja adquirido cortado, dobrado e configurado em módulos de 5 m, cada um pesando cerca de 45 kg e podendo ser carregado por dois colaboradores;
- A fôrma seja executada com painéis pré-fabricados em local externo e em módulos de 5 m, devendo ser somente posicionados e travados na obra;
- O concreto será usinado e bombeado por bomba tipo arraste, com cada caminhão betoneira podendo ter até 9 m³;

Para a execução desse escopo são necessários os seguintes recursos:

- 3 ajudantes gerais;
- 1 carpinteiro;
- 1 meio-oficial armador;
- 1 mestre de obras;
- 1 retroescavadeira com operador;
- 1 caminhão basculante;
- 1 grupo gerador com mangote vibrador;
- Ferramentas manuais – martelo, prego, serra circular, turquesa, etc.

Sendo assim, define-se a seguinte cronologia executiva:

**Tabela 6 - Cronologia executiva para 100 metros de canaleta em concreto**

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Segunda
<b>Escavação</b>	<b>83 m<sup>3</sup></b>					
<b>Regularização</b>	<b>45 m<sup>2</sup></b>	<b>40 m<sup>2</sup></b>				
<b>Aço</b>		<b>882 kg</b>				
<b>Concreto Base</b>		<b>13,4 m<sup>3</sup></b>				
<b>Concreto Paredes</b>					<b>18,9 m<sup>3</sup></b>	
<b>Forma</b>			<b>60 m<sup>2</sup></b>	<b>60 m<sup>2</sup></b>		
<b>Desforma</b>						<b>120 m<sup>2</sup></b>

O prazo defendido para a execução será de 8 dias corridos, a um custo final de R\$ 53.757,22, não sendo considerados os custos com mobilização e desmobilização.

### **Cronologia executiva de uma canaleta em polipropileno celular**

Será usado também como exemplo de escopo, a execução de 100 metros lineares de canaleta em polipropileno celular, tendo os seguintes insumos envolvidos:

**Tabela 7 – Itens envolvidos na execução de 100 m de canaleta em polipropileno**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.
1	Escavação mecanizada em material de 1ª e 2ª categorias	m <sup>3</sup>	33,00
2	Regularização de base	m <sup>2</sup>	85,00
3	Instalação de canaleta em polipropileno celular seção 600 mm x 550 mm x 1000 mm	und.	100,00
4	Reaterro compactado em seção lateral a canaleta	m <sup>3</sup>	20,00

Como premissas de contrato e facilidade executivas é definido que:

- O transporte das canaletas até o local será realizado durante o processo de mobilização;

Para a execução desse escopo são necessários os seguintes recursos:

- 3 ajudantes;
- 1 operador de máquinas leves;
- 1 encarregado;
- 1 retroescavadeira com operador;
- 1 caminhão basculante;
- 2 placas vibratórias;
- Ferramentas manuais – martelo de borracha e nível de bolha;

**Tabela 8 - Cronologia executiva para 100 m de canaleta em polipropileno**

	Segunda	Terça
<b>Escavação</b>	<b>83 m<sup>3</sup></b>	
<b>Regularização</b>	<b>45 m<sup>2</sup></b>	<b>40 m<sup>2</sup></b>
<b>Instalação</b>		<b>100 m</b>
<b>Compactação</b>		<b>20 m<sup>3</sup></b>

O prazo defendido para a execução será de 2 dias corridos, a um custo final de R\$28.871,00, não sendo considerados os custos de mobilização e desmobilização.

## **Comparativo dos quesitos de Saúde e Segurança**

### **Execução de concretagem**

Atualmente os processos de concretagem na execução de canaletas de plataforma, especialmente em seções de corte, é realizado com o auxílio de caminhões betoneira, bombas de arraste ou lança. Essa atividade exige extrema cautela durante a sua execução haja vista o seu alto risco de periculosidade, todas as variáveis envolvidas e múltiplas atividades simultâneas decorrentes da própria atividade.

Por indicações de saúde e segurança, as atividades de concretagem não são realizadas em paralelo com outras atividades da obra, tentando mitigar ao máximo os riscos no momento e possibilitando o foco total do técnico de segurança no acompanhamento.



**Figura 17 - Concretagem de canaleta - Km 472 ZUB.ZQQ (RCA - Jul/2016)**

Dentre as principais atividades de risco envolvidas na operação e que obrigatoriamente devem constar na APR (Avaliação Prévia de Riscos), podemos citar:

- Check do equipamento, patolagem e estabilização da bomba de concreto;
- Tropeços e deslizamentos na circulação;
- Elevado peso do mangote;
- Riscos de pensamento de membros durante o manuseio do mangote (pés e mãos);
- Golpe de aríete do mangote (“chicoteio”) devido a entupimentos;
- Alto número de colaboradores envolvidos na atividade de desempenho do concreto, sem foco direto na atividade de manuseio do mangote;
- Projeção de material devido a desagregação do concreto;
- Risco de queda de galhos no choque do mangote;

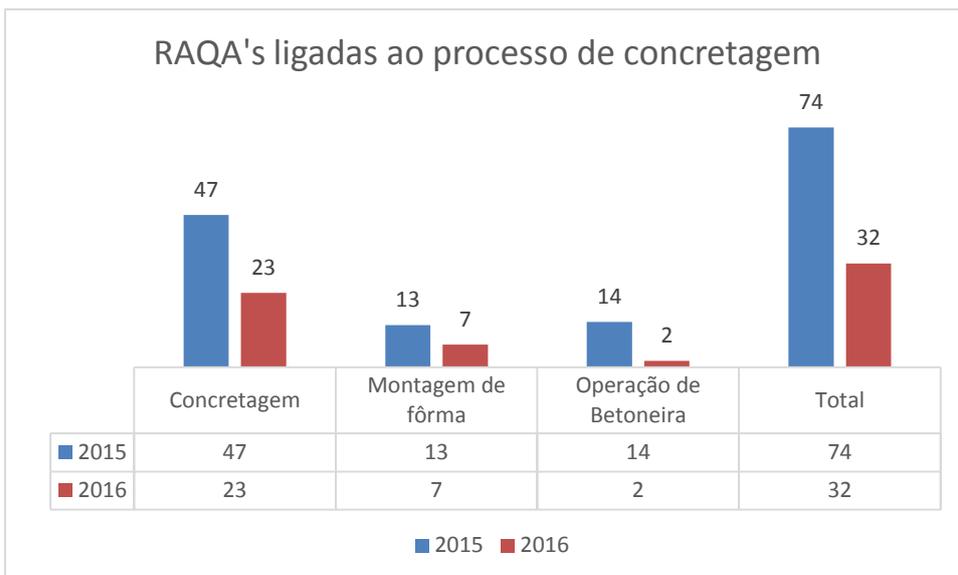


**Figura 18 - Bomba lança posicionada na crista do corte (Km 472 e Km 182) – Centro Sudeste**



**Figura 19 - Concretagem de canaleta no Km 182 ZCB.ZTD (Portex - Out/15)**

Em consulta ao sistema SIV para levantamento dos registros e análises de quase acidente (RAQA's), pode-se avaliar que essa atividade em muito contribui para a probabilidade de risco de acidentes. Foram levantadas todos os quase acidentes relacionados a concretagem, montagem de fôrma e manuseio de betoneira entre os períodos de janeiro de 2015 a julho de 2016, não sendo considerados os RAQA's relacionados a tropeços e deslizes pela impossibilidade de filtrar esse tipo de ocorrido exclusivamente no banco de dados.

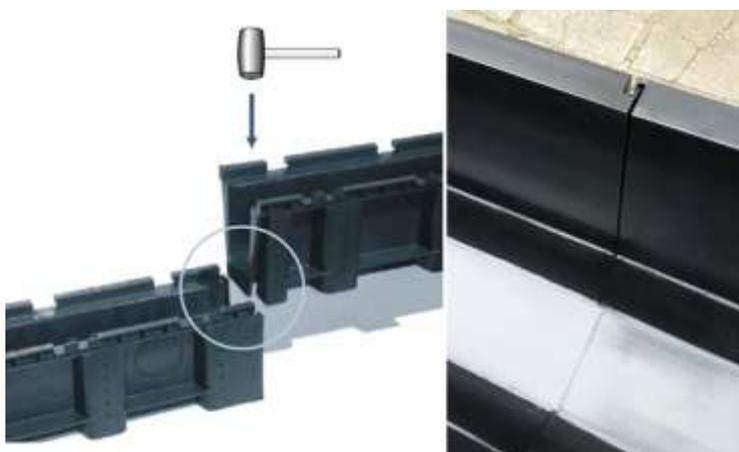


**Gráfico 1 - RAQA's em processos de concretagem (Fonte: SIV)**

### **Execução de canaleta em Polipropileno**

Analisando as premissas de projeto e verificando os dados obtidos já na etapa de confecção das peças protótipos, temos:

- Peso estrutural da peça: 19,5 Kg;
- Ferramenta usada para a montagem: martelo de borracha e nível;
- Atividades em paralelo: Montagem e reaterro lateral;
- Potencial de severidade da atividade: Baixo;



**Figura 20 - Montagem da canaleta em Polipropileno**

Por indicações de Saúde e Segurança é recomendável que não se execute as atividades de escavação em paralelo com as atividades de montagem das peças dentro da mesma área de segurança. É recomendado também manter distância entre as atividades de montagem e reaterro lateral.

## **CONSIDERAÇÕES AO POLIPROPILENO**

### **Incêndios**

Uma grande preocupação com a mudança do sistema de drenagem convencional em concreto para um sistema baseado em polímeros é a sua flamabilidade, ou seja, sua capacidade de entrar em combustão ao ser exposto a calores excessivos.

A maioria dos plásticos se queima muito rapidamente. O polipropileno, por exemplo, tem uma taxa de geração de resíduo sólido carbonizado igual a zero, ou seja, existe uma queima total do material. Para diminuir esse risco, a indústria adiciona compostos químicos "retardadores de queima", normalmente moléculas halogenadas que contêm elementos altamente reativos, como cloro ou bromo. Eles são muito eficientes nesse papel, mas, por outro lado, têm levantado crescentes preocupações quanto ao seu impacto ambiental e sobre a saúde humana.

Quando alguma coisa se queima - ou se decompõe termalmente, como dizem os cientistas - há dois tipos de resíduos: um gás, que é o que gera a chama, e uma parte sólida carbonizada. Quando tentam criar um plástico que não queima, o objetivo é gerar a maior quantidade possível de resíduo carbonizado - o que significa menos chama e menos compostos químicos voláteis sendo liberados na atmosfera.

De acordo com a CivilsNet e a Plura Composites, parceiras do projeto em questão, os custos envolvidos na adição das propriedades anti-chama e supressora de fumaça tendem em encarecer o produto final em até 15%.

Portanto, sendo a ocorrência de incêndios e a proteção ao meio-ambiente preocupações constantes na VLI, é totalmente válida a análise desse quesito.

### **Aditivo anti-chama**

A função de um aditivo anti-chama é inibir ou, quando possível, eliminar a propagação do fogo em um material. Isso se torna altamente necessário quando uma peça está exposta a temperaturas elevadas ou a correntes elétricas, fatores que somados a inflamabilidade de boa parte dos polímeros podem apresentar um resultado indesejável: incêndio.

Em muitos países os retardantes de chama a base de compostos halogenados foram banidos por determinações governamentais, um exemplo disso é a diretiva europeia RoHS (Restrictions of Hazardous Substances, em português: Restrição de Substâncias Perigosas). Mesmo em locais onde isso ainda não ocorreu existe uma certa pressão do próprio mercado para a substituição desses materiais por outros não-halogenados.

Os principais aditivos anti-chama halogenados são bromados e clorados, sendo mais utilizado na indústria o óxido de decabromodifenila, que junto com o trióxido de antimônio no polímero causa um efeito de sinergia, aumentando o poder de retardância regenerando o tribrometo de antimônio. No campo dos livres de halogêneos estão a alumina tri-hidratada (ATH), o hidróxido de magnésio, os compostos fosforados e o cianurato de melamina, sendo a ATH tratada nesse estudo como essencial para projetos específicos onde o risco de incêndio não está diretamente ligado as falhas no processo de manutenção preventiva.

1A																	8A			
1																	2			
1	H																	He		
	Hidrogênio																	Hélio		
2	3	4													5	6	7	8	9	10
	Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
	Lítio	Bélio													Boro	Carbono	Nitrogênio	Oxigênio	Fluoreto	Neônio
3	11	12											13	14	15	16	17	18		
	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
	Sódio	Magnésio											Alumínio	Silício	Fósforo	Enxofre	Cloro	Argônio		
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
	Potássio	Cálcio	Escândio	Titânio	Vanádio	Cromo	Manganês	Ferro	Cobalto	Níquel	Cúprum	Zinco	Gálio	germânio	Ársenic	Selênio	Bromo	Kriptônio		
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
	Rubídio	Estrôncio	Ítrio	Zircônio	Níbio	Molibdênio	Técnetio	Rútenio	Ródio	Paládio	Prata	Cádmio	Índio	Estanho	Antimônio	Telúrio	Iodo	Xenônio		
6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
	Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
	Césio	Bário	**	Háfnio	Tântalo	Tungstênio	Rênio	Osmínio	Írídio	Platina	Ouro	Mercúrio	Tlúmio	Chumbo	Bismuto	Polônio	Astato	Rádônio		
7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118		
	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uuq	Uuo		
	Frâncio	Rádio	**	Rutherfordio	Dubnio	Seabórgio	Bório	Háscio	Mitânio	Darmstádio	Róentgenio	Copernício	Ununtrio	Ununquádro	Ununpêntio	Ununhexio	Ununseptio	Ununoctio		
8	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71					
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
	Lantânio	Cério	Praseodímio	Néodímio	Promécio	Samaritânia	Europio	Gadolínio	Térbio	Diprímio	Holm	Erbólio	Timol	Ítrio	Lutécio					
9	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103					
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr					
	Actínio	Tório	Protactínio	Urânio	Neptúncio	Plutônio	Amérvio	Cúrio	Béquerel	Califórnia	Einsteinio	Fermio	Mendelevio	Nobelio	Láncemio					

Figura 21 - Tabela periódica com a coluna 7A (Halógenos) destacada

Alumina tri-hidratada (ATH) - Entre os diversos tipos de alumina encontradas no mercado, a de interesse para uso em plástico é alumina tri-hidratada (ATH) que também é conhecida como alumina hidratada ou trihidróxido de alumínio (tem a fórmula  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$  - porque é constituída por microcristais de gibsite).

Tem como características: cor branca, textura fina e homogênea; é obtida pelo processo Bayer (não é tóxica e quimicamente é inerte). Pode substituir total ou parcialmente a carga mineral do polímero (ex. talco), além de retardar chamas também é um supressor de fumaça em muitos plásticos e possui uma baixa abrasividade. A principal razão para sua propriedade retardante de chamas é a sua ação em diminuir a temperatura. Isso ocorre porque a decomposição do hidróxido de alumínio  $Al_2(OH)_3$  em alumina, é uma reação endotérmica que libera água e acontece aproximadamente entre 220°C a 600°C, o que habilita o seu uso como aditivo para o polipropileno com ponto de fusão na ordem de 160°C.



**Figura 22 - Elucidação do tratamento anti-chama**

### **Supressores de fumaça**

Se por um lado o uso de retardantes de chama em polímeros visa atender a determinados requisitos de segurança, no que se refere à ignição e propagação do fogo, por outro lado estes mesmos aditivos têm causado efeitos colaterais. Isto porque muitos problemas são causados pela fumaça e produtos tóxicos liberados, no caso do uso de aditivos halogenados. A supressão do fogo pode resultar em grande fumaceira ao invés de completa combustão com pouca liberação de fumaça. Além disso, enquanto a combustão completa de materiais orgânicos leva à formação de moléculas simples como CO, a combustão incompleta leva à formação de produtos mais complexos e nocivos. A situação é mais crítica com os anti-chama que atuam quimicamente na etapa de ignição, como os compostos halogenados, principalmente quando usados em conjunto com o trióxido de antimônio.

Existem duas formas básicas de atuação dos supressores de fumaça: por efeito físico ou por efeito químico. No caso do efeito físico utiliza-se materiais intumescentes que quando aquecidos incham (aprisionando a fumaça) e protegem o material combustível do fogo e do oxigênio. Os supressores que atuam quimicamente, como o óxido de molibdênio, reduzem a emissão de fumaça mas provocam um aumento na propagação da chama, uma vez que atuam

no sentido inverso, isto é, promovendo a combustão completa. Muitos estudos têm sido desenvolvidos nesta área, mas ainda não se tem soluções adequadas.

Um desenvolvimento mais recente é o "pó de silicone", uma mistura de polidimetilsiloxano e sílica, que pode ser utilizada em vários tipos de termoplásticos. A adição de apenas 1% deste aditivo pode representar um bom efeito supressor de fumaça. Os pós de silicone são específicos para cada tipo de polímero pois contém agentes de acoplamento para melhorar a compatibilidade com o polímero.

Normalmente são utilizados em conjunto com retardantes de chama convencionais, uma vez que não apresentam propriedades anti-chama. Em alguns materiais atuam também como lubrificantes, auxiliando no processamento. O mecanismo exato de atuação dos pós de silicone ainda não está bem estabelecido, mas acredita-se que a mistura sílica-silicone forme um retículo tridimensional que, durante a combustão do polímero, produz uma camada protetora, reduzindo o fluxo de calor para a massa polimérica e o transporte de produtos combustíveis para a chama.

### **Limpeza Preventiva Mecanizada**

Outro ponto de discussão quanto a viabilidade executiva das canaletas em polipropileno celular é quanto a sua resistência ao longo do tempo, ciclos de manutenção.

Diversos estudos já efetuados por empresas ligadas ao ramo comprovam que o polipropileno tem vida útil superior a 50 anos sem que haja perda das suas propriedades físicas e mecânicas dimensionadas.

Os ciclos e o modo executivo de manutenção preventiva de infraestrutura da VLI estão passando por revisão pelo time de Engenharia de Infraestrutura, e é consenso que existem gaps significativos na execução. O mesmo deve passar por modificações no Regulamento de

Manutenção Ferroviária para que se enquadre nos parâmetros de qualidade e efetividade, sem que para isso se danifique os ativos de drenagem.

Atualmente a preventiva é executada de forma mecanizada, utilizando-se mini-escavadeira com concha de 30 cm. Esse tipo de equipamento já se mostra deficiente quanto a força empregada no processo de retirada de material depositado no fundo da canaleta, e comumente danifica o ativo sem promover efetividade executiva.



**Figura 23 - Canaleta destruída durante processo de preventiva (Pátio de Estiva Gerbi)**

Portanto, para a viabilidade de todo o processo da troca da matriz concreto por polipropileno na construção de canaletas é necessário que boas práticas no processo de preventiva também sejam adotadas, visando garantir a integridade do ativo.

Podemos citar como práticas essenciais na correta execução do processo de preventiva os seguintes itens:

- Redimensionamento do equipamento, utilizando escavadeiras rodoferroviárias, com implementos adequados e diminuindo o impacto de carga sobre o sistema de drenagem;



**Figura 24 - Sistema Rodoferroviário acoplado em escavadeira hidraulica**

- Uso de conchas especiais, sem dentes e com gabarito definido de acordo com a seção de limpeza;
- Retirada de todo o material depositado dentro do sistema de drenagem para um correto bota-fora a jusante, garantindo a integridade do sistema como um todo;

## **CONCLUSÃO**

Após análises dos dois sistemas em questão (Polipropileno x Concreto), podemos defender a excelência da proposta quanto ao uso do polipropileno como peça estrutural em substituição ao concreto. Os pontos destacados a seguir são cruciais para a sobrevivência do projeto como um todo, sendo o produto desenvolvido pela VLI em parceria com a CivilsNet e a Plura Composites considerado viável:

- Viabilidade financeira, pois, comprovadamente o custo unitário por metro construído apresenta uma redução de 46% frente ao método convencional em concreto armado;
- Ganhos operacionais, pois, para etapas de concretagem é necessário uso de faixas de execução;

- Velocidade de execução, pois, o tempo necessário para a execução de todas as etapas se mostrou aproximadamente quatro vezes menor, não sendo levados em consideração o tempo de ociosidade gerado na etapa de cura do concreto;
- Controle de qualidade, pois, por se tratar de um produto industrializado e entregue pronto conseguimos diminuir os desperdícios e garantir o controle de qualidade;
- Aplicabilidade em todas as linhas tronco da ferrovia, pois, os critérios definidos no design da peça estão de acordo com os raios mínimos e declividades existentes;
- Baixo risco de acidentes pessoais, tendo em vista que o peso estrutural da peça de polipropileno é de menos de 20 kg/m e o peso final da mesma seção em concreto é de 738 kg/m;
- As análises de produtividade do sistema em polipropileno apresentam uma tendência de até 300 m produzidos por dia;
- A utilização da tecnologia viabiliza sua aplicação com turmas de execução reduzidas e abre precedentes para o conceito “one-touch” de manutenção, já que seu peso reduzido e sua propriedade modular possibilita a substituição de peças em locais pontuais danificados.

### Quadro comparativo Polipropileno Celular vs. Concreto Convencional

Item	Polipropileno Celular		Concreto Convencional	
Custo financeiro por metro (R\$)	R\$ 288,71	✓	R\$ 537,57	✗
Adição de propriedade anti-chama (R\$)	+ R\$ 33,00	✗	0	✓
Produtividade (m/dia)	300	✓	70*	✗
Tempo de cura e desforma (h)	0	✓	48	✗

<b>Mão de obra necessária para execução (homens)</b>	4		5 + Concreteira	
<b>Necessidade de faixa de execução</b>	Não		Sim	
<b>Potencial de risco de acidentes</b>	Baixo		Muito Alto	

Tendo em vista os pontos abordados sobre ambas as tecnologias, a proposta de substituição das canaletas em de concreto convencionais por canaletas de polipropileno celular para projetos futuros é uma opção extremamente viável, obtendo redução de custos significativos e melhorando a qualidade de entrega, tempo de execução e segurança de colaboradores.

Mesmo com a necessidade de aditivos anti-chama e supressores de fumaça, para a aplicabilidade da tecnologia em áreas de preservação permanente e perímetro urbano, e o aumento de custos na casa de 15% para o material, os custos ainda se mostram mais vantajosos que o concreto convencional. Em consulta aos especialistas da engenharia entende-se que o princípio de incêndio as margens da ferrovia se dá, na maior parte dos casos, por uma falha no processo de manutenção preventiva, onde os ciclos de roçada não são executados com a periodicidade correta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Manual de drenagem de Rodovias - DNIT. - 2. ed. - Rio de Janeiro, 2006. 333p. (IPR. Publ., 724p)

PORTO, R.L. (1995). escoamento superficial direto. In: Drenagem Urbana. 1ª ed. Porto Alegre. Editora da Universidade. UFRGS, ABRH, 1995. Cap.4, p.107-165.

CAMPOS, ANDRÉ, DT VIA 3886-2015 - Elaboração de estudo dos impactos e propor soluções para as deficiências do sistema de drenagem nos trechos urbanos da FCA, 2015.

SANTOS BASTOS, PAULO S. - Apostila 2117 – Estruturas de Concreto I (Flexão Simples) – UNESP – BAURU, 81p.

Aditivos retardantes de chama para plásticos em geral – Tudo Sobre Plásticos – site: <http://www.tudosobreplasticos.com/aditivos/antichamas.asp/> – Acessado em 16 de julho de 2016.

BAPTISTA, MÁRCIO B. et al. Hidráulica Aplicada. ABRH, 2001, 619 p.

CHAUDHRY, M. HANIF. Open-Channel Flow. Prentice Hall, 1993, 483 p.

Dennett, Robert - CMAI. Polypropylene - The light at the end of the tunnel. Houston CMAI - 11 th. World Petrochemical Conference. 1996.