

# ESTUDO COMPARATIVO DE ARMADURA CONVENCIONAL VERSUS FIBRA DE AÇO NO REVESTIMENTO DE CONCRETO EM TUBOS DE AÇO

Ricardo Luis Lenz ([Ricardo.lenz@gmail.com](mailto:Ricardo.lenz@gmail.com)); Andrea Parisi Kern ([apkern@unisinis.br](mailto:apkern@unisinis.br));  
Francisco Carlos Tavares ([fcts0705@gmail.com](mailto:fcts0705@gmail.com))

Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) - Brazil

**Palavras chave:** Sustentabilidade, Dutos Concretados, Controle de Flutuabilidade, Fibras de Aço.

*A utilização de fibra de aço na construção civil vem aumentando nos últimos anos e melhorado as propriedades do concreto. Fibras de aço já são aplicadas em larga escala no revestimento de túneis, pisos de concreto, reforço estrutural e fabricação de peças pré-moldadas. Em projetos de dutos enterrados de aço, jaquetas de concreto armado são tradicionalmente utilizadas em locais específicos para combater a flutuabilidade negativa (empuxo) e ou proteção mecânica em locais de rocha e cruzamentos de estradas e ferrovias. Este estudo tem por objetivo apresentar os ganhos econômicos e ambientais no processo de substituição da armadura convencional por fibra de aço na execução de diferentes espessuras de jaquetas. A metodologia consistiu em quantificar todos os materiais e recursos envolvidos na execução para os dois métodos e comparar os processos construtivos para diferentes espessuras de jaquetas. Os resultados parciais apontam vantagens na utilização da fibra como diminuição de consumo por m<sup>3</sup> de concreto, aumento de produtividade na execução, qualidade do produto final e principalmente a redução das perdas que são geradas no processo de corte da armadura convencional.*

## 1. INTRODUÇÃO

A fabricação de jaquetas de concreto com reforço de tela soldada sempre foi um gargalo na produtividade em obras de duto. As normas e especificações técnica aplicável à construção e montagem de dutos terrestre sempre direcionavam a utilização da tela soldada como único reforço possível de ser aplicado (NBR 12712, 2002; NBR 15280-1, 2017).

Com a substituição da armadura convencional por fibra de aço, algumas atividades podem ser eliminadas no processo de fabricação, conforme abaixo relacionado.

- Recebimento da tela soldada em rolo ou painéis de 6 x 2,54 m;
- Corte nos tamanhos correspondente a circunferência do tubo onde ocorre naturalmente um desperdícios e geração de resíduos;
- Calandragem para conformação circunferencial que a depender do diâmetro, sobreposição nas emendas;
- Fixação de toda tela ao redor do tubo onde deverá ser instalado previamente um espaçador para fixação da tela e da forma.

Essas atividades aumentam o custo da concretagem de tubos bem como podem comprometer o prazo de execução da atividade e impactar no prazo final do projeto. A substituição da armaura convencional por fibra eliminaria todas as atividades acima relacionadas, além de ganhos na qualidade e meio ambiente. A **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** apresenta um tubo de aço com a armadura já pronta.



Figura 9 - Tubo com armadura convencional, Emissário do COMPERJ

### 1.1. Concreto Reforçado com Fibra

A utilização de concreto reforçado com fibras vem crescendo, podendo ser encontrados em várias aplicações na construção civil, como, revestimento de túneis, pisos de com solicitação de alta resistência de tráfego de veículos e equipamentos pesados, reforço estrutural combinado com vergalhões de aço, tubos de concreto para drenagem, etc.

O primeiro uso estrutural de concreto reforçado com fibras de aço foi em 1971, para a produção de painéis desmontáveis com 65 mm de espessura, que foram aplicados no estacionamento do aeroporto de Heathrow, em Londres, os quais foram inspecionadas 5 anos após e não apresentavam fissuras (METHA; MONTEIRO, 2008).

No mesmo ano, foram realizados ensaios comparando o concreto convencional com concreto reforçado com fibras, para um estudo de estacionamento de aeronaves do aeroporto de Mississipi. O experimento comparou o desempenho de uma laje de concreto reforçado com fibras de 150 mm com uma de concreto convencional de 250 mm, onde o concreto com fibras apresentou o primeiro fissuramento com 350 carregamentos e rompimento com 8.735 carregamento, versus 40 e 950 respectivamente para o concreto convencional (METHA; MONTEIRO, 2008). Nesse experimento, concreto reforçado com fibras apresentou um desempenho melhor, isto é, 8,75 vezes com relação a fissuração e 9,2 vezes com relação ao rompimento, além da redução do volume total de concreto, que é considerado um dos materiais mais poluentes na construção civil por causa do cimento. Uma das características do concreto é a baixa resistência a tração. A Rápida propagação de microfissuras sob tensão aplicada é responsável pela baixa resistências à tração do material. O concreto reforçado com fibras melhora a sua resistência e tenacidade. Um grande volume de fibras curtas pode reduzir a microfissuração, levando ao aumento da resistência e da ductibilidade. Um pequeno volume de fibras longas pode reduzir a microfissuração, causando um aumento significativo na ductibilidade do sistema (METHA; MONTEIRO, 2008).

O tipo de fibra e sua fração volumétrica tem um efeito significativo nas propriedades do concreto reforçado com fibras, e é comum a classificação em função da fração volumétrica (METHA; MONTEIRO, 2008).

- **Baixa Fração Volumétrica (<1%):** tem o objetivo de reduzir a fissuração por retração, geralmente usadas em grandes locais com grande superfície exposta, como por exemplo pisos e lajes, melhorando a distribuição de carga, menor exposição a corrosão e redução do custo de Mão de Obra durante a execução, se comparado com a armadura convencional.
- **Fração Volumétrica Moderada (entre 1 e 2%):** aumento do módulo de ruptura, tenacidade a fratura e resistência ao impacto. Geralmente são usados em concreto projetado e em estruturas que exigem capacidade maior de absorção de energia, lascamento e fadiga.
- **Alta fração volumétrica (>2%):** são usados em compósitos de alto desempenho.

O tamanho da fibra também tem um papel relevante. Grandes volumes de fibras curtas diminuem as microfissuras, já as fibras longas são necessárias para diminuir a microfissuração, sob cargas mais elevadas, mas também compromete a trabalhabilidade da mistura (METHA; MONTEIRO, 2008). Estudos de dosagem de concreto com fibras são necessários para não comprometer a sua trabalhabilidade e resistência final do material.

Existe uma grande variedade de formatos, dimensões e tipos e de fibras no mercado, sendo três tipos mais comuns encontrados no Brasil, dentre elas podemos citar as fibras corrugadas, fibras com gancho, normalmente empregadas para reforço estrutural e as fibras com fios trefilados, as quais apresentam resistência mecânica maior, devido ao formato. Algumas fibras são produzidas com sobras de produção, como é o caso da fibra de aço corrugada, que é produzida a parti do fio chato que sobra da produção de lâ de aço, que são disponibilizadas com um custo mais baixo e menor impacto ambiental (FIGUEIREDO, 2000).

A armadura convencional não pode ser substituída por fibra em aplicações estruturais por questões de segurança, mas em conjunto podem trazer benefícios como melhora da resistência a flexão, resistência ao impacto, desempenho de fadiga, podendo sim reduzir seções e melhorar o desempenho, bem como aumentar a vida útil da estrutura. Projetos (METHA; MONTEIRO, 2008).

## 1.2. Dutos

Os dutos constituem o melhor meio para transporte de fluidos, contudo a construção de oleodutos e gasodutos requer pesado investimento inicial, porém com retorno de capital garantido (CANTO; LOUZADA, 2009). O modal dutoviário é fundamental para o transporte de petróleo e seus derivados e tem a função de ligar as áreas de produção de petróleo ou terminais de recebimento até as refinarias e dessas levar os produtos refinados até a proximidade dos mercados consumidores. É reconhecidamente o meio de transporte mais seguro e econômico para esse tipo de produto (OLIVEIRA, 2016).

De acordo com as (NBR 12712, 2002; NBR 15280-1, 2017), medidas de proteção do duto, como por exemplo, tubo camisa, jaquetas de concreto, aumento da espessura de parede, rebaixamento de dutos em uma maior profundidade ou sinalização indicando a presença de dutos, devem ser adotadas em travessias de rios, áreas costeiras alagáveis, pontes, áreas de tráfego intenso e terrenos instáveis. Ainda, o uso de jaqueta de concreto de no mínimo 38 mm é obrigatório para travessia de rios, lagos e canais conforme item 7.2.11 da norma. As normas recomendam a utilização de armadura para a concretagem de tubos e não trazem nenhuma referência com relação a utilização de concreto com fibras.

O concreto também é usado na proteção de oleodutos e gasodutos, conferindo peso ao sistema para o controle de flutuabilidade em aplicações offshore e outros ambientes úmidos (LEPECH et al., 2010). A execução do revestimento de concreto é dispendioso em termos de tempo e elevado custo de execução e logística diferenciada, tornando os projetos mais demorados, mais caros e com frequentes atrasos no cronograma (SILVA; GARCIA; SILVA, 2007).

A substituição da armadura convencional por fibras de aço proporciona uma redução de atividades e recursos no processo e conseqüentemente uma redução no prazo de execução em razão da mobilidade de lançamento do concreto e da mão de obra desnecessária pela eliminação de atividades no processo de corte e montagem das telas (FIGUEIREDO, 2000).

Os tubos com fibras de aço apresentam menores níveis de fissuração para baixos níveis de deformação, pois as fibras atuam no início do processo de fissuração, visto que estão próximas à superfície da parede do tubo. Nos tubos de concreto com fibras de aço sem a armadura convencional com telas ou vergalhões não é necessário cobrimento mínimo e posicionamento próximo à linha neutra na parte central da parede do tubo de concreto (FIGUEIREDO, 2011).

Na construção da obra do Emissário de Efluentes do COMPERJ, projeto esse executado pela construtora OAS entre 2013 e 2015, foi aprovado, através de uma consulta técnica CT-EMICRJ-OAS-001 (2014) junto com a fiscalização (PETROBRAS) em parceria e suporte técnico da COPPETEC-RJ, para substituição da armadura convencional por fibra de aço, numa quantidade de 30 kg/m<sup>3</sup>.

## **2. OBJETIVO**

Este estudo tem por objetivo apresentar os ganhos econômicos e ambientais no processo de substituição da armadura convencional por fibra de aço, na construção e montagem do Emissário do COMPERJ, projeto esse executado pela Construtora OAS, e apresentar uma relação de consumo de fibra para diferentes espessuras de jaquetas de concreto.

## **3. METODO DE PESQUISA**

Consiste em quantificar as principais variáveis para a concretagem de tubos de 32 pegadas de diâmetro, baseado em produtividades reais alcançados no projeto e valores praticados no período, e elaborar uma curva de consumo de fibra e aço para concretagem de diferentes espessuras de jaqueta de concreto com base nas normas da ABNT e dosagem de fibra ensaiada em laboratório.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As normas e especificações técnica aplicável à construção e montagem de dutos terrestre sempre direcionaram a utilização da tela soldada como único reforço possível de ser aplicado, atividade essa que poderá ser eliminada com a utilização de fibra de aço no lugar da armadura convencional, com um significativo aumento de produtividade.

Para a alteração do método construtivo, e aprovação junto com cliente (PETROBRAS), foram necessários a execução de ensaios em laboratório em placas de concreto e testes práticos com peças em tamanho real, conforme ilustrado nas Figura 9, Figura 10 e Figura 11. Na primeira fase, os resultados demonstram um melhor desempenho do concreto reforçado com fibra e os ensaios de campo com tubo concretado comprovaram os resultados obtidos nos ensaios de laboratório, e deram subsídio para fazer a substituição da armadura convencional por fibra de aço, conforme relatório emitido para Consulta Técnica (OAS, 2014)

Nos ensaios em laboratório foram usadas fibras de aço aspecto 80 e 67, com dosagens de 25, 30 e 35 kg/m<sup>3</sup> de concreto, sendo recomendado o uso de 30 kg/m<sup>3</sup> e a fibra de aspecto 80.



Figura 10 - Fibras de aço (COOPETEC, 2104)



Figura 11 - Armadura Convencional (COOPETEC, 2014)



Figura 12 - Ensaio de dois tubos concretados (OAS, 2014)

O projeto do emissário de Efluentes do COMPERJ, com um total de 45 km de extensão e 32 polegadas de diâmetro, tem um total de 27 km de tubos concretados, com espessuras de jaquetas de 38mm, para proteção mecânica, 110 mm para dutos de espessura de parede de 12,5 mm e 130 mm para dutos com espessura de parede de 9,525 m. O volume total de concreto aplicado nesse projeto foi de 10.000 m<sup>3</sup>, conforme dados levantados no projeto executivo.

#### 4.1. Redução do Custo e Ganhos Diretos

Nesse estudo foram somente analisadas as atividades diretamente envolvidas na execução, na qual foram quantificados os recursos de execução de corte, calandragem e colocação da armadura convencional em volta do duto. As demais atividades, como ganhos no recebimento, armazenagem, apoio a produção com recursos de logística, segurança e meio ambiente não foram considerados na análise.

A redução de mão de obra está representada na Tabela 8, e os índices de produtividade reais, baseados em projetos similares executados anteriormente pela construtora OAS. Para um total de 10.000 metros cúbicos foi possível contabilizar um custo de R\$ 840.226,81 reais. Já no concreto com fibra, essas atividades não são necessárias, sendo a fibra misturada diretamente no caminhão de concreto usinado para a mistura antes do seu lançamento.

Tabela 8 - Custos diretos de MO para armação do tubo

Função	Índice (Hh/kg)	Quantidade e (KG)	Total Hh	Custo (R\$/h)	Custo (R\$)
Armador	0,03	289.170	8675,1	34,08	295.647,41
Ajudante	0,075	289.170	21687,75	25,11	544.579,40
<b>Total</b>					<b>840.226,81</b>

Já com relação ao material, armadura versus fibra de aço, o custo do material foi maior, um total de R\$ 668.209,50 reais, conforme demonstrado na Tabela 9. A dosagem de fibra

recomendada no estudo foi de 30 kg/m<sup>3</sup> de concreto e a armadura usada foi a tela soldada Q196 com peso de 3,11 kg/m<sup>2</sup>, conforme recomendação mínima de norma.

Tabela 9 – Custo de Armadura versus Fibra de Aço

Material	Peso (kg/m)	Extensão (m)	Custo (R\$/h)	Custo (R\$)
Armadura	11,4	27.000	5,60	1.723.680,00
Fibra	10,71	27.000	3,65	1.055.470,50
<b>Diferença Material</b>				668.209,50

Dessa forma, apesar do custo maior da fibra de aço, comparado com a armadura convencional, foi possível contabilizar um ganho de R\$ 172.017,31 reais com utilização da fibra, devido a eliminação de atividades necessárias no processo convencional.

A variação de espessura das jaquetas de concreto, altera a taxa de armadura versus fibra, isto é, quanto maior a espessura de concreto menor será o consumo de armadura por metro cúbico, conforme demonstrado no gráfico da Figura 13. A espessura necessária para a jaqueta de concreto é definida, em função da espessura de parede do duto, meio de imersão e densidade do concreto principalmente.

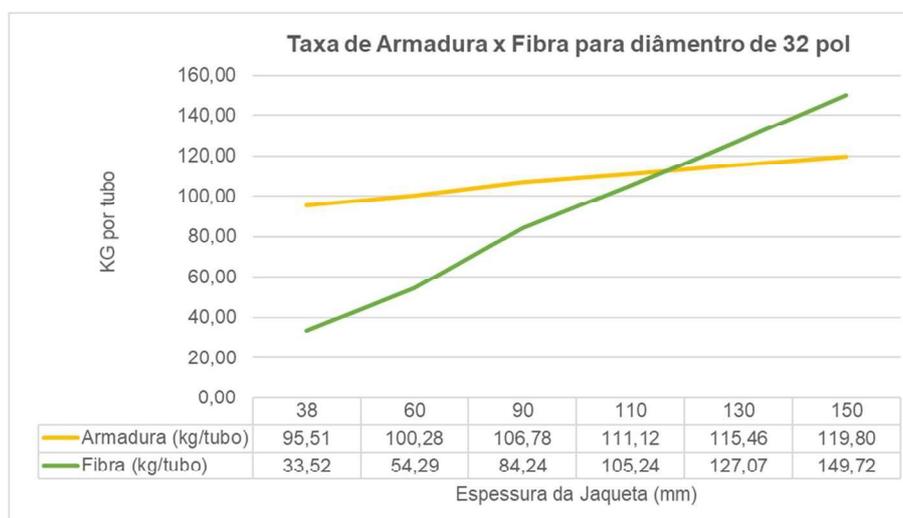


Figura 13 – Consumo de armadura e fibra para diversas espessuras de jaqueta

Para diâmetros menores, a taxa de armadura irá aumentar devido a sobreposição, conforme definido pela norma, nas emendas longitudinais. Isso também pode ocorrer quando o diâmetro do duto é muito grande, onde serão necessário a execução de duas transposições, ou mais, de armadura para um melhor aproveitamento dos painéis.

O estudo de custo para comparar os dois sistemas, não considerou as perdas de corte da armadura convencional, que além gerar um resíduo ou um co-produto, gerou um custo adicional no processo de compra. Essa perda não ocorre na utilização de fibra, que apesar do custo unitário maior, ainda demonstra vantagens no processo como um todo.

#### 4.2. Redução do Custo e Ganhos Indiretos

Com a redução de 30.363 horas do Hh, conforme Tabela 8, necessário para a execução do corte e armação, podemos mencionar os seguintes efeitos positivos na utilização de fibras de aço:

- Menor número de horas de exposição ao risco;
- Menor tempo de permanência da equipe de concretagem;
- Menor custo das obrigações sociais e encargos nas rescisões contratuais;

- Melhor índice de produtividade da equipe de concretagem;
- Redução do prazo da atividade.
- Com a redução de 7.500 kg de tela resultante de perdas no corte e aparas, podemos mencionar os seguintes efeitos positivo:
- Economia custo R\$ 27.375,00 (=7.500kg x R\$/kg 3,65);
- Menor prazo de locação de containers para resíduos metálico;
- Menor quantidade de matéria prima utilizada;
- Menor geração de resíduo metálico e custo para destinação;
- Menor impacto ambiental.

## 5. CONCLUSÃO

A utilização de fibra de aço na concretagem de tubos trouxe benefícios para o projeto em questão, com a redução de custo, prazo, qualidade e impactos ambientais.

Vale ressaltar, que são necessários mais estudos relacionados dosagem de concreto com fibra, visando otimizar o consumo por metro cúbico de concreto e assim buscar uma melhor relação de consumo entre a fibra e armadura convencional principalmente, para jaquetas com espessuras acima de 110 mm, geralmente empregadas em dutos de grandes diâmetros.

A melhoria da qualidade do concreto com fibra, principalmente com relação a resistência acabou reduzindo o número de tubos danificados, pois houve uma menor quantidade de deslocamento nas atividades de movimentação de tubos, transporte e abaixamento do duto na vala, conseqüentemente, um índice de perdas e retrabalhos menores.

Outras metodologias de controle de fluabilidade deverão ser analisadas, pois as mesmas podem gerar vantagens econômicas e ambientais, como por exemplo o uso de tirantes, geotêxteis, e agregados reciclados. A substituição dos agregados por um de densidade maior, como por exemplo de minério de ferro, para reduzir a espessura da jaqueta e reduzir o impacto ambiental do sistema.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANTO, Carlos Henrique; LOUZADA, Mello. *Projeto Mecânico de Dutos Terrestres*. In: FREIRE, José Luis de França (Org.). *Eng. Dutos*. 1a ed. Rio de Janeiro: ABCM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CIENCIAS MECÂNICAS, 2009. p. 9.1 9.37.
- FIGUEIREDO, ANTONIO DOMINGUES. *Antônio Domingues de Figueiredo*. 2000.
- FIGUEIREDO, Antonio domingos de. *Concreto Reforçado Com Fibras*. Livre Docência, p. 246, 2011.
- LEPECH, Michael D et al. *Improving Concrete For Enhanced Pipeline Protection*. [S.l: s.n.], 2010
- METHA, P. Kumar;; MONTEIRO, Paulo J.M. *Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais*. [S.l: s.n.], 2008.
- NBR 12712. *Projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível*. Brasil: [s.n.], 2002
- NBR 15280-1. *Dutos Terrestres Parte 1: Projeto*. Brasil: [s.n.], 2017
- OAS. CT-EMCRJ-OAS-001 - *Substituição da Armadura de Tela Soldada (Q196 - GERDAU) por Fibra de Aço Aspecto 80 nas Jaquetas dos Tubos Concretados*. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2014
- OLIVEIRA, Fernando Nascimento. *E&G Economia e Gestão*, Belo Horizonte, v. 16, n. 45, Out./Dez. 2016 32. p. 32–57, 2016.
- SILVA, Flávio Alexandre; GARCIA, Jorlando Correia; SILVA, Rildo Cambui. *OTIMIZAÇÃO DO USO DE REVESTIMENTO DE CONCRETO COMBATER A FLUTUAÇÃO DE GASODUTOS*. 2007, Rio de Janeiro: IBP, 2007. p. 1–8.