



# Sistemas de Controle Automatizado no Processo de Fabrico de Tubos Compósitos Termoplásticos

## Autores:

Michael Popov, Nelson Bernardo

## Resumo

Na produção de Tubos Compósitos Termoplásticos (TCP) — cada vez mais adotados na indústria energética pelas suas propriedades de leveza, resistência à corrosão e alto desempenho — a garantia de uma fabricação sem defeitos é fundamental. Este artigo enfatiza o papel central dos sistemas automatizados de controlo de processo na obtenção de qualidade consistente, minimização de defeitos de fabrico e otimização da produtividade. Através da monitorização precisa e do ajuste em tempo real de parâmetros-chave — como temperatura, força de compactação, velocidade de deposição e alinhamento do material — os sistemas automatizados oferecem uma solução transformadora para os desafios que atualmente limitam a escalabilidade e fiabilidade da produção de TCP.

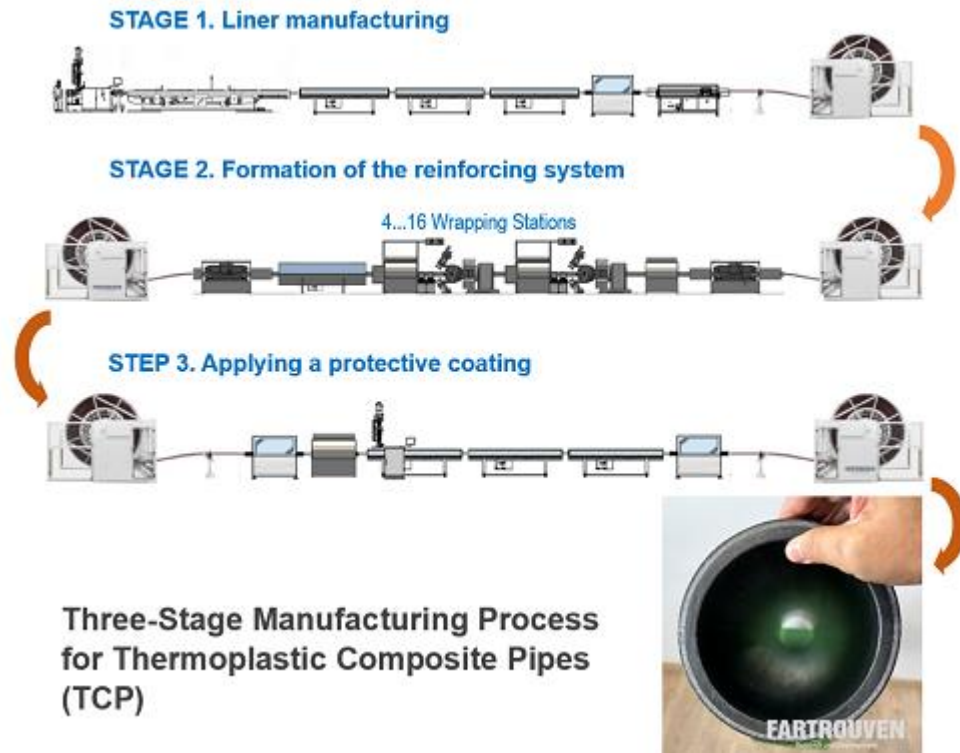
## 1. Introdução



Os Tubos Compósitos Termoplásticos (TCP) estão a revolucionar a tecnologia de tubagens, particularmente no setor do petróleo e gás, ao oferecer uma alternativa flexível, resistente à corrosão e enrolável às tubagens convencionais em aço. Contudo, os benefícios dos TCP só podem ser plenamente alcançados quando o processo de fabrico assegura integridade estrutural e desempenho sem defeitos..

Embora exista equipamento de produção tanto para processos de uma etapa como de duas etapas, a abordagem mais robusta e estável é o processo de fabrico de TCP em três etapas.

Dada a complexidade das interações termo-mecânicas durante a produção de TCP, os sistemas automatizados de controlo de processo deixaram de ser opcionais — são um componente crítico nas linhas modernas de fabrico de tubos compósitos. Estes sistemas constituem a base para a repetibilidade do processo, prevenção de defeitos e garantia de desempenho.



## 2. Formação de Defeitos: A Justificação para a Automação



### 2.1 Defeitos Comuns no Fabrico

A produção de TCP é suscetível a defeitos como:

- Vazios e porosidade devido a aprisionamento de ar ou compactação insuficiente;
- Delaminação causada por aquecimento desigual ou má fusão;
- Desalinhamento das fibras resultante de inconsistências mecânicas durante a deposição;
- Degradação térmica devido a aquecimento descontrolado.

Estes defeitos surgem frequentemente de variações não monitorizadas dos parâmetros do processo, tornando essencial a deteção e correção em tempo real através da automação.

### 2.2 Riscos do Controlo Manual ou Semi-Automatizado

Os processos manuais ou semi-automatizados carecem da consistência e rapidez necessárias para a produção de TCP de alta qualidade. Respostas tardias a desvios nos parâmetros aumentam o risco de defeitos cumulativos, tempos de paragem e rejeição de produção.

## 3. O Papel dos Sistemas Automatizados de Controle de Processo



### 3.1 Monitorização e Ajuste em Tempo Real

Os sistemas automatizados monitorizam continuamente parâmetros críticos, incluindo:

- Temperatura superficial no ponto de nipagem;
- Pressão dos rolos e força de compactação;
- Velocidade de deposição e tensão do material;
- Alinhamento da fita e qualidade da colagem.

Qualquer desvio em relação aos limiares pré-definidos desencadeia ação corretiva imediata, mantendo a estabilidade em todas as fases da produção.

### 3.2 Integração com Sistemas de Aquecimento

A consolidação térmica é especialmente sensível na produção de TCP. Os sistemas de controlo automatizados:

- Ajustam a intensidade do laser ou radiação infravermelha com base em imagens térmicas em tempo real;
- Previnem sobreaquecimento ou subaquecimento na interface de fusão;
- Sincronizam a aplicação de calor com a velocidade da linha e a espessura do material.

Ao integrar o controlo do aquecimento com sistemas de movimento e feedback de força, a automação assegura a colagem ótima sem degradar a matriz polimérica.

### 3.3 Deposição Automatizada de Fitas com Máquina de Enrolamento

Na produção de TCP, a deposição automatizada de fitas (ATL) é implementada através de uma máquina de enrolamento, que garante a bobinagem contínua e uniforme de fitas termoplásticas pré-impregnadas sobre um liner extrudido.

Este sistema inclui:

- Sistemas de controlo de percurso para manter a orientação das camadas;
- Sistemas de visão para deteção de desalinhamento;
- Sincronização com fontes de aquecimento (por exemplo, forno IR) para consolidação in situ das camadas;
- Ciclos de feedback para ajustar a tensão e corrigir anomalias.

A integração da máquina de enrolamento com o sistema de controlo automatizado permite o ajuste rápido da velocidade de enrolamento, força de aperto e parâmetros de temperatura — cruciais para prevenir porosidade, delaminação e deslocamento das fibras.

## 4. Benefícios da Automação na Produção de TCP

Aspecto	Manual/Semi-Automatizado	Totalmente Automatizado com Controle de Processo
Repetibilidade do processo	Limitada	Elevada
Deteção de defeitos	Atrasada ou pós-processo	Em tempo real
Resposta a variações	Intervenção manual	Ajuste autónomo
Produção	Moderada	Elevada
Refugos e retrabalho	Frequentes	Significativamente reduzidos
Garantia de qualidade	Baseada em inspeção visual	Baseada em sensores e dados



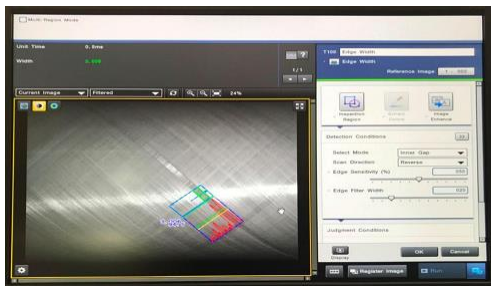
TCP 6" 6,9 MPa  
Manual/semi-automatic production



TCP 6" 10,3 MPa  
Fully automated production

Source: Fartrouven R&D

## 5. Recomendações para Implementação



Para garantir a integração bem-sucedida do controlo automatizado na produção de TCP, recomendam-se os seguintes passos:

### 5.1 Projeto de Sistemas de Sensores e Dados

- Utilizar câmaras infravermelhas, perfilómetros a laser e sensores de força para monitorizar variáveis-chave do processo.
- Garantir altas taxas de aquisição de dados para controlo e mapeamento precisos.

### 5.2 Sistemas de Feedback em Malha Fechada

- Implementar controladores PID ou algoritmos baseados em machine learning para ajustar potência da fonte de calor, pressão dos rolos e velocidade da linha em tempo real.

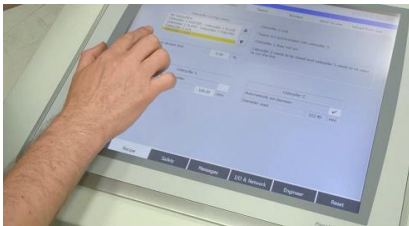
### 5.3 Manutenção Preditiva

- Integrar a automação com ferramentas de diagnóstico para detetar desgaste em elementos de aquecimento ou deriva mecânica nos rolos de compactação antes do surgimento de defeitos.

### 5.4 Interfaces Homem-Máquina (HMI)

- Fornecer aos operadores painéis intuitivos para visualizar métricas de desempenho, alarmes e tendências do processo, facilitando decisões pró-ativas.

## 6. Conclusão



Em suma, o fabrico de TCP sem defeitos é uma tarefa multidimensional que exige precisão, controlo e adaptabilidade.

O caminho para TCPs de alta qualidade e sem defeitos passa pela **integração total dos sistemas automatizados de controlo de processo**. Estes sistemas proporcionam uma precisão, consistência e eficiência incomparáveis na gestão de ambientes complexos de fabrico de compósitos. Ao passar da correção manual para a resposta preditiva em tempo real, a automação melhora a qualidade do produto, minimiza desperdícios, aumenta a produção e reforça a fiabilidade operacional a longo prazo.

$$\text{TCP Manufacturing} = f \left( \begin{array}{l} \bullet \text{ Liner Geometry} \\ \bullet \text{ UD tape tension} \\ \bullet \text{ Concentricity of laying UD tape} \\ \bullet \text{ Gaps between UD tapes} \\ \bullet \text{ Heating mode} \\ \bullet \text{ Compaction speed} \\ \bullet \text{ Compaction pressure} \\ \bullet \text{ Cooling mode} \end{array} \right)$$

Num mercado atual onde as normas de desempenho e segurança são cada vez mais exigentes, o investimento em automação não é apenas uma melhoria — é uma necessidade estratégica para qualquer fabricante de TCP que pretenda liderança tecnológica e excelência operacional.

© Fartrouven R&D

**Palavras-chave:** Tubo Compósito Termoplástico (TCP), Controlo Automatizado de Processo, Aquecimento a Laser, Deposição de Fita, Máquina de Enrolamento, Monitorização In Situ, Automação na Fabricação de Compósitos



Fornecimento de equipamento de processo para a produção de tubos TCP/RTP não metálicos para campos petrolíferos

Rua Campo de Futebol, 308 Ruivaqueira 2425-480 Souto da Carpalhosa, Portugal

Tel. +351 244 130 855

e-mail: [plant@fartrouven.pt](mailto:plant@fartrouven.pt)

<https://fartrouven.pt>