

# Manual Torre de Polímero

Eduardo Augusto Victor Souza

2024

## Sumário

<b>1</b>	<b>Funcionamento da torre</b>	<b>2</b>
1.1	Partes mecânicas . . . . .	2
1.2	Paineis de controle . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Pré-forma</b>	<b>2</b>
2.1	Processo de transformação . . . . .	2
2.2	Desenho técnico . . . . .	2
<b>3</b>	<b>1º puxamento</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>2º puxamento</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Erros</b>	<b>7</b>
5.1	Controles da torre . . . . .	7
5.2	Processos de fabricação . . . . .	7

# 1 Funcionamento da torre

## 1.1 Partes mecânicas

## 1.2 Paineis de controle

# 2 Pré-forma

## 2.1 Processo de transformação

## 2.2 Desenho técnico

# 3 1º puxamento

Neste puxamento, transformamos uma pré-forma de  $70mm$  de diâmetro e  $90mm$  de altura em um 1º estágio de  $12mm$  de diâmetro (na média) e  $480mm$  de altura. Segue abaixo o procedimento passo a passo:

1. Abrir válvula de nitrogênio - verificar se há pressão (gás), caso contrário trocar cilindro de N<sub>2</sub>;
2. Ligar torre - conectar rede elétrica da torre à rede elétrica do prédio (botão de liga/desliga na parede), girar alavanca da torre e clicar na tela do painel de controle principal. Em seguida, apertar o *reset* principal para sumir o erro E01 (circuitos de emergência), esperar aparecer o erro E27 (*drum winder rotation*) e segurar o *reset* do *drum winder* até este erro sumir;
3. Posicionar fornalha com entrada maior no eixo da castanha;
4. Verificar fornalha - ligá-la no modo manual a 20% da potência e verificar se todas as lâmpadas estão acesas. Após, desligar e configurar para o modo automático com potência à 100%;
5. Encaixar peças metálicas na pré-forma - rosquear peça metálica na parte superior (com rosca) da pré-forma e passar pinos na lateral por outra peça metálica na parte inferior (com furos laterais perpendiculares) da pré-forma;
6. Fixar extensor superior (palitão de metal) na castanha da torre - firmar bem com mandril;
7. Isolar parte superior da fornalha termicamente - passar peça de cerâmica pelo extensor superior;
8. Prender a pré-forma no extensor superior - rosquear a peça metálica superior no extensor de maneira que a peça de cerâmica fique por cima da pré-forma;
9. Alinhar pré-forma no eixo XY - descer pré-forma com comando *inch down* aos poucos até chegar perto da entrada da fornalha. Mover nos eixos X e Y com as setas do painel de controle do piso superior. Verificar alinhamento de frente para a porta de acrílico da torre e pela lateral do canto da parede;
10. Encaixar extensor inferior (palitão de metal) na peça de pino - abra a íris por completo e encaixe o extensor inferior na peça metálica inferior (com pino) da pré-forma passando-o pela saída do forno;

11. Alinhar parte superior da peça metálica inferior (com pino) com a entrada da fornalha - este alinhamento é feito no eixo Z, em que para descer a pré-forma usa-se *inch down* e para subir usa-se *fast up*;
12. Posicionar pré-forma no ponto ótimo de temperatura da fornalha - resetar posição no painel de controle superior, descer pré-forma até posição 113mm e resetar novamente;
13. Definir velocidades de alimentação (*feed*) e de puxamento (*tractor*) - tipicamente definimos a velocidade de alimentação em 0,5mm/min e calculamos a velocidade de puxamento usando a conservação de massa via Eq. 2;
14. Prender extensor inferior com sistema de puxamento (*tractor*) - posicionar extensor no meio da esteira do *tractor* e apertar botão *clamp*. É preciso que a válvula de nitrogênio esteja aberta;
15. Iniciar rampa de temperatura - fechar íris em torno do extensor inferior e executar rampa de temperatura como descrita em Tab. 1;
16. Iniciar puxamento - ligar no painel principal a alimentação (*feed*) e o puxamento (*tractor*);
17. Monitorar peça metálica inferior (com pino) - abrir completamente a íris até que a peça metálica inferior saia por completo da fornalha. Após, ir fechando a íris em torno da amostra;
18. Encerrar puxamento - quando a peça metálica inferior (com pino) estiver perto dos disco metálicos de proteção acima do *Zumbach*;
19. Desligar fornalha e esperar esfriar (entre 1h e 2h);
20. Dar *unclamp* e desrosquear o extensor inferior na peça metálica inferior (com pino);
21. Abrir a íris por completo e subir gradualmente o 1º estágio (intercalando *fast up* e *stop*) até sair pela entrada da fornalha;
22. Soltar o extensor superior da castanha (segurando o 1º estágio) e desrosquear da peça metálica superior (com rosca);
23. Remover a peça de cerâmica e tirar o 1º estágio de dentro da fornalha - cuidado para não tocar na parede (vidro) da fornalha com as peças metálicas;
24. Fechar íris, desligar torre e fechar válvula de nitrogênio.

$$V_i = V_f \Rightarrow \pi \left( \frac{d_i}{2} \right)^2 v_{feed} \Delta t = \pi \left( \frac{d_f}{2} \right)^2 v_{draw} \Delta t \therefore v_{draw} = \left( \frac{d_i}{d_f} \right)^2 v_{feed} \quad (1)$$

em que  $v_{feed}$  é a velocidade de alimentação (*feed*),  $v_{draw}$  é a velocidade de puxamento (*tractor*),  $d_i$  é o diâmetro inicial (pré-forma) e  $d_f$  é o diâmetro final (1º estágio).

Temperatura (°C)	Tempo (min)
120	60
150	45
170	45
190	30
200	5

Tabela 1: Rampa de temperatura da fornalha para o 1º puxamento.

Seguem abaixo algumas observações a cerca do procedimento:

- Caso não apareça o erro E27, os comandos de motores da torre ficarão desativados. Desligue a alavanca da torre, aguarde 30 segundos e reinicie o procedimento;
- Em Eq. 2 assumimos um fluxo de matéria incompressível, o que nem sempre é verdade, mas tem-se mostrado uma boa aproximação;
- Nesse puxamento, a velocidade de puxamento ( $v_{feed}$ ) é fixa;
- Colocamos o começo da amostra no ponto ótimo do forno para que este seja o ponto que comece a ser esticado durante o puxamento;
- Tome extremo cuidado para não deixar a peça metálica inferior (com pino) bater na íris da fornalha;
- A rampa de Tab. 1 precisa ser estudada (há outras possibilidades?);
- É preciso estudar o perfil de temperatura da fornalha com entrada maior;
- Caso a amostra grude no vidro da fornalha, imediatamente termine o puxamento. Espere o conjunto esfriar e retire-a da fornalha com cautela.

## 4 2º puxamento

Neste puxamento, transformamos um 1º estágio ou um tubo de aproximadamente 12mm em fibra de diâmetro menor que 1mm (tipicamente entre  $170\mu m$  e  $600\mu m$ ). Segue abaixo o procedimento passo a passo:

1. Abrir válvula de nitrogênio - verificar se há pressão (gás), caso contrário trocar cilindro de N2;
2. Ligar torre - conectar rede elétrica da torre à rede elétrica do prédio (botão de liga/desliga na parede), girar alavanca da torre e clicar na tela do painel de controle principal. Em seguida, apertar o *reset* principal para sumir o erro E01 (circuitos de emergência), esperar aparecer o erro E27 (*drum winder rotation*) e segurar o *reset* do *drum winder* até este erro sumir;
3. Posicionar fornalha com entrada menor no eixo da castanha;
4. Verificar fornalha - ligá-la no modo manual a 20% da potência e verificar se todas as lâmpadas estão acesas. Após, desligar e configurar para o modo automático com potência à 100%;

5. Fixar extensor superior (tubo de PMMA) ou peça metálica de pressão (quando for aplicar pressão no 1º estágio) na castanha da torre - firmar bem com mandril;
6. Isolar parte superior da fornalha termicamente - passar peça de cerâmica pelo extensor superior;
7. Prender a 1º estágio no extensor superior - passar algumas camadas de fita aluminizada e por cima passar fita de alumínio. A peça de cerâmica deve ficar por cima do 1º estágio;
8. Alinhar 1º estágio no eixo XY - descer 1º estágio com comando *inch down* aos poucos até chegar perto da entrada da fornalha. Mover nos eixos X e Y com as setas do painel de controle do piso superior. Verificar alinhamento de frente para a porta de acrílico da torre e pela lateral do canto da parede;
9. Encaixar extensor inferior (tubo de PMMA) na peça de pino - abrir íris da fornalha por completo, descer 1º estágio com *inch down* até sair boa parte da fornalha. Prender no extensor inferior com fita aluminizada e fita de alumínio;
10. Alinhar parte superior da junção de fita do 1º estágio com extensor inferior com a entrada da fornalha - este alinhamento é feito no eixo Z, em que para descer 1º estágio usamos *inch down* e para subir usamos *fast up*;
11. Posicionar 1º estágio no ponto ótimo de temperatura da fornalha - resetar posição no painel de controle superior, descer 1º estágio até posição 113mm e resetar novamente;
12. Definir velocidade de alimentação (*feed*) e zeramos a velocidade puxamento (*tractor*) - tipicamente definimos a velocidade de alimentação em  $4mm/min$ ;
13. Prender extensor inferior com sistema de puxamento (*tractor*) - posicionar extensor no meio da esteira do *tractor* e apertar botão *clamp*. É preciso que a válvula de nitrogênio esteja aberta;
14. Iniciar rampa de temperatura - fechar íris em torno do extensor inferior e executar rampa de temperatura como descrita em Tab. 2;
15. Iniciar puxamento - ligar no painel principal a alimentação (*feed*) e o puxamento (*tractor*);
16. Aumentar de maneira gradual a velocidade de alimentação - no início aumentamos de  $0.010mm/min$  em  $0.010mm/min$  e depois (quando passar de  $0.300mm/min$ ) podemos aumentar em passos maiores;
17. Monitorar junção de fita do extensor inferior com o 1º estágio - abrir completamente a íris até que a junção saia por completo da fornalha. Após, ir fechando a íris em torno da amostra;
18. Curvar extensor inferior para não bater na proteção de acrílico do capstan;
19. Cortar fibra acima da junção de fita com o extensor inferior - após *Zumbach* medir  $2mm$  de diâmetro (fibra);
20. Continuar aumentando velocidade de puxamento (*tractor*) até que o *Zumbach* meça  $1mm$  de diâmetro (fibra);

21. Parar de aumentar velocidade de puxamento (*tractor*) e esperar fibra atingir comprimento o suficiente para passar pelo sistema do capstan por completo;
22. Desligar alimentação (*feed*) e puxamento (*tractor*) - segurar a ponta da fibra e dar *unclamp*.
23. Trocar sistema de puxamento de *tractor* para *capstan* - apertar botão *use tractor* para que o seu quadrado mude de verde para vermelho no painel de controle principal;
24. Religar sistema de puxamento (*capstan*) - reduzir sua velocidade, pois é muito mais alta que a do *tractor*;
25. Ligar o sistema de rotação do tambor de enrolar fibra (*drum winder rotation*) no painel de controle principal;
26. Religar sistema de alimentação (*feed*);
27. Passar fibra pelo sistema do *capstan*, pelo guia de fibra e prender no *drum winder* com fita de pintor - o guia de fibra deve estar alinhado com o início do *drum winder*;
28. Ligar o movimento transversal do tambor (*drum winder traverse*) no painel de controle principal;
29. Usar calculadora do programa da *Torre de Polímero* em *LabView* para estimar a velocidade de puxamento (*capstan*) para o diâmetro do 1º estágio - fazer isso variando o diâmetro do 1º estágio para cada posição Z;
30. Ajustar velocidade de puxamento (*capstan*) até o diâmetro medido pelo *Zumbach* estabilizar - no gráfico de diâmetro do programa do *LabView*, a curva experimental deve oscilar em torno do valor estipulado;
31. Configurar *set points* do modo automático - na aba *Products* do *Zumbach*, clique no botão *Edit*, defina o diâmetro médio ( $\bar{d}$ ), *offset* nulo, limite superior ( $d_u$  : *upper limit*) e limite inferior ( $d_l$  : *lower limit*). Tipicamente usamos  $\bar{d} = 0.2mm$ ,  $d_u = 0.21mm$  e  $d_l = 0.19mm$ ;
32. Acionar modo automático do puxamento (*capstan*);
33. Mudar banda de fibra no *drum winder* - apertar o botão *go to next band* no painel de controle principal e apertar o botão *next fiber* no programa do *LabView*;
34. Mudar de banda quando satisfeito e repetir procedimento de configuração do modo automático - fazer isso para alguns diâmetros de fibra e parâmetros de puxamento (pressão);
35. Encerrar puxamento - desligar alimentação (*feed*) e puxamento (*capstan* e *drum winder*) quando o extensor superior (ou peça metálica para pressão) estiver perto da entrada da fornalha;
36. Desligar fornalha;
37. Retirar sobra do 1º estágio - cortar fibra que saiu da fornalha, abrir toda a íris e subir gradualmente o conjunto com *fast up* até o resto do 1º estágio sair por completo pela entrada da fornalha;
38. Soltar o extensor superior da castanha e remover a peça de cerâmica;

39. Fechar íris, desligar torre e fechar válvula de nitrogênio.

$$v_{draw}(z) = \left[ \frac{d_i(z)}{d_f} \right]^2 v_{feed} \quad (2)$$

em que  $v_{feed}$  é a velocidade de alimentação (*feed*),  $v_{draw}$  é a velocidade de puxamento (*capstan*),  $d_i$  é o diâmetro inicial (1º estágio) e  $d_f$  é o diâmetro final (fibra).

Temperatura (°C)	Tempo (min)
120	30
150	30
170	30
190	5
200	1

Tabela 2: Rampa de temperatura da fornalha para o 2º puxamento.

Seguem abaixo algumas observações a cerca do procedimento:

- Nesse puxamento, a velocidade de puxamento ( $v_{feed}$  depende da posição Z da amostra), pois o 1º estágio apresenta uma distribuição de diâmetro em torno de uma média (perfil polinomial);
- Ainda é preciso estudar como ter controle da posição Z da amostra durante o puxamento;
- A rampa de Tab. 2 precisa ser estudada (há outras possibilidades?);
- É preciso estudar o perfil de temperatura da fornalha com entrada menor;
- Não é necessário esperar a fornalha esfriar para remover a sobra de 1º estágio.

## 5 Erros

### 5.1 Controles da torre

### 5.2 Processos de fabricação