

TRABALHO DE INFORMÁTICA INDUSTRIAL

1. INSTRUÇÕES GERAIS PARA O TRABALHO

1. O trabalho deve ser desenvolvido em grupos de até 3 alunos e deve contemplar o desenvolvimento de um sistema de controle e automação para um processo de produção de Dry Martini, até a etapa de envase, conforme mostra a Figura 1.
2. Todos deverão utilizar o ambiente de programação IEC 61131-3 **CODESYS v3.5 SP11 Patch 4** para implementar a aplicação de controle lógico e sequencial associado ao processo descrito a seguir, conforme a descrição funcional da operação do processo apresentada na seção 2. Esta versão do CODESYS oferece uma aplicação de SoftPLC e um servidor OPC (*Object linking and embedded for Process Control*), controlado pelo **CODESYS Gateway**. A aplicação deverá considerar as recomendações do padrão IEC 61131-3 para programação de um Controlador Programável (CP) e deverá ser integrado a uma interface de operação para operação e supervisão do processo, utilizando o software SCADA **InduSoft Web Studio v8.x Educational**. Todos os links para downloads se encontram no Moodle.
3. O servidor OPC, disponibilizado pelo próprio CODESYS, deve ser configurado e utilizado para a troca de dados entre o sistema **InduSoft Web Studio** e o softPLC **CODESYS Control Win**. A IHM a ser desenvolvida deve possuir **animações** para todas as ativações e status de operação do processo.
4. Todas as definições, implementações e resultados devem ser documentados no relatório do trabalho, segundo as etapas descritas no artigo **Aspectos Metodológicos para o Ensino de Projetos em Controle e Automação**, a ser entregue em data prevista no plano de aulas da disciplina.
5. O grupo ainda deve pesquisar e especificar um hardware compatível com o software CODESYS, *i.e.*, que utilize o CODESYS como IDE de programação, **para completar as informações previstas nas Etapas 2, 3, 4 e 5 do artigo citado**. DICA: Existem diversas linhas de hardwares de CPs IEC incluindo fabricantes já reconhecidos no mercado de controle e automação de processos que utilizam o CODESYS como IDE. Fundamente bem a sua escolha, observando principalmente as Etapas 2 e 3.

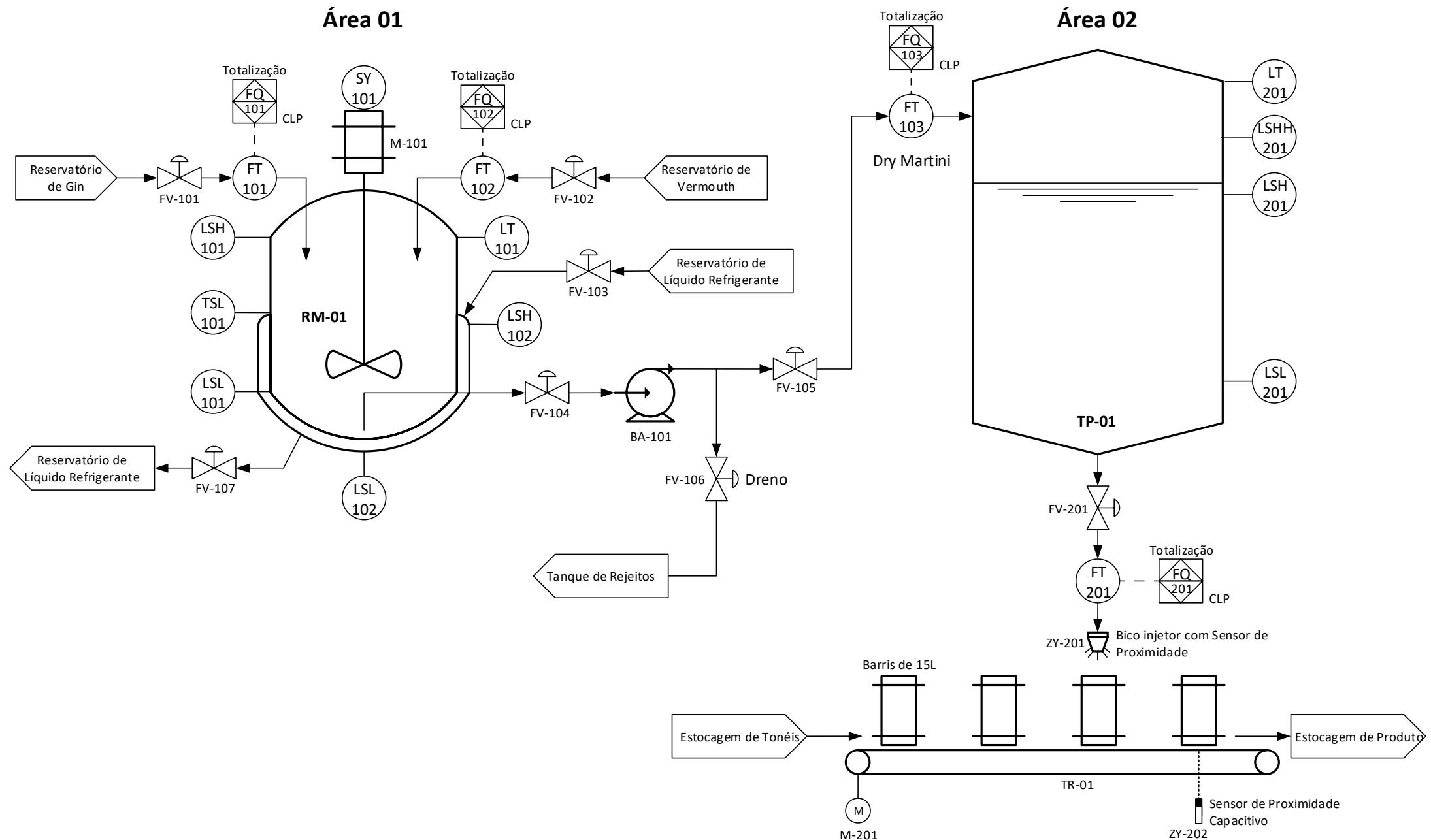


Figura 1. Fluxograma do Tanque de Produção de Dry Martini.

2. DESCRIPTIVO DO PROCESSO A SER AUTOMATIZADO

O processo consiste em duas áreas e três equipamentos principais, um Reator de Mistura (**RM-01**), um Tanque de Produto (**TP-01**) e um Transportador (**TR-01**) para produção de Dry Martini, uma bebida reconhecida em várias sociedades. O reator **RM-01** possui capacidade de 52,6 L e consiste num tanque com 200 mm de diâmetro e 1.650 mm de altura, equipado com uma “jaqueta” para resfriamento com 15L de fluido refrigerante, um motor para realizar a mistura e instrumentação adequada. O nível de **RM-01** é medido continuamente na faixa de 0 a 1.600 mm (50 L) por meio do medidor **LT-101**.

Em sequência, tem-se o Tanque de Produto (**TP-01**) com capacidade de 197,9 L de Dry Martini e consiste num tanque com 300 mm de diâmetro e 2.800 mm de altura cuja função é armazenar a bebida produzida. O nível de **TP-01** é medido continuamente na faixa de 0 a 2.700 mm (~190 L) por meio do medidor **LT-201**.

Por último, o Transportador (**TR-01**) tem a função de transportar tonéis de 15L do setor de Estocagem de Tonéis para a Estocagem de Produto, ou seja, tonéis cheios de Dry Martini. O Fluxograma de Engenharia do processo pode ser visualizado na Figura 1.

O processo e todo o seu sequenciamento, deve funcionar em modo automático (**AUTO**) por meio do programa do CP, bastando receber a habilitação de modo **AUTO** para operar a sequência. Contudo, para fins de testes e manutenção, deve-se prever uma operação em modo manual (**MAN**), que desliga a sequência de produção em si. **Uma vez em modo MAN, DEVE ser possível comandar o motor do misturador (M-101), todas válvulas (FV-101 a FV-107 e FV-201), a bomba de produto (BA-101) e o motor do transportador (M-201).**

Ao ser ligado em modo **AUTO**, o processo executa a receita para produção de uma batelada de **45L** de Dry Martini e envasa barris de **15L** com o produto. Enquanto a operação estiver em modo **AUTO**, e a emergência (**EMG**) não for acionada, outras bateladas deverão ser produzidas e os barris envasados. A Totalização de Dry Martini (**FQ-04**) deve indicar sempre o volume total (acumulado) produzido e entregue ao **TP-01**. A automação das duas áreas, batelada de produto e envase, devem seguir os procedimentos a seguir:

2.1. ÁREA 01 - BATELADA DE DRY MARTINI:

- I. Adicionar 30L de Gin (verificados no totalizador de Gin).
- II. Adicionar 15L de Vermouth (verificados no totalizador de Vermouth).
- III. Ligar o misturador para agitar a mistura e, ao mesmo tempo, abrir a válvula de injeção de Líquido Refrigerante, **FV-103**, até que a chave de nível alto da jaqueta, **LSH-102** (0 – Nível abaixo de alto / 1 – Nível alto) seja atuada. Caso **LSH-102** atue, deve-se fechar a

- válvula **FV-103**. A agitação da mistura no tanque envolto pela jaqueta com líquido refrigerante proporcionará uma queda de temperatura na mistura até aproximadamente 0°C.
- IV. Manter a agitação até que a temperatura do tanque alcance $(0,0 \pm 1,0)$ °C, atuação do termostato **TSL-101** (0 – Temperatura acima de 0°C / 1 – Temperatura igual a 0°C). Caso **TSL-101** atue, deve-se abrir a válvula **FV-107** até que a chave de nível baixo da jaqueta, **LSL-102** (1 – Nível acima de **LSL-102** / 0 – Nível baixo de **LSL-102**) seja atuada.
 - V. Em paralelo, **TSL-101** atuada, deve-se também desligar o misturador, abrir a válvula **FV-104**, abrir a válvula **FV-105**, ligar a bomba **BA-101**.
 - VI. A bomba **BA-101** deve ficar atuada até que todo o nível de **RM-01** seja esgotado, indicando que toda a batelada foi transferida de **RM-01** para o tanque **TP-01**. A chave de nível baixo do reator, **LSL-101** (1 – Nível acima de **LSL-101** / 0 – Nível abaixo de **LSL-101**) atua quando o nível atinge 10% do **RM-01**.
 - VII. No **RM-01**, há uma chave de nível alto, **LSH-101**. Ela não deve ser acionada estando o sistema em modo **AUTO** (45L em cada batelada). No entanto, é possível que, no funcionamento em modo **MAN**, o operador encha **RM-01** ao máximo (50L), provocando o acionamento de **LSH-101**.

Independentemente do tamanho de **RM-01**, ele sempre recebe 45L de insumos e ao esvaziar-se, sabe-se que os mesmos 45L foram bombeados. Essa sequência deve ser sempre executada, repetidamente, enquanto o modo de operação estiver em **AUTO** e o botão **EMG** não estiver acionado.

2.2. ÁREA 02 - ENVASE DE TONÉIS DE 15L:

- I. Quando o nível do **TP-01** atingir 50% do total, deve-se ligar o motor do **TR-01 (M-201)**.
- II. Quando o sensor de proximidade do bico injetor de produto (**ZY-201**) detectar um tonel em sua frente, deve-se desligar o motor **M-201** e abrir a válvula **FV-201**. *DICA: programe um temporizador para simular a detecção de um tonel por ZY-201 a cada 5s.*
- III. Quando o totalizador **FQ-201** indicar 15L, deve-se fechar a válvula **FV-201**, zerar o totalizador para a indicação de 0L e religar o motor do transportador **M-201** para o enchimento de um novo tonel.
- IV. O sensor de proximidade **ZY-202** deve incrementar um contador (CTU) para registrar o número de tonéis que passar por ele. *DICA: após o enchimento de um tonel, programe um temporizador para simular a detecção de um tonel por ZY-202 a cada 3s.*
- V. Quando o nível do **TP-01** atingir 85%, a chave de nível alto, **LSH-201** (0 – Nível abaixo de alto / 1 – Nível alto) deve atuar e um alarme “**Nível do TP-01 quase alto**” deve aparecer na tela de operação.

Essa sequência deve ser sempre executada, repetidamente, enquanto o modo de operação estiver em **AUTO** e o botão **EMG** não estiver acionado. Dessa forma, ela só pode ser interrompida quando:

1. O sensor de proximidade **ZY-201** não detectar um tonel durante 15s:
 - I. Nesse caso, deve-se desligar a o motor do transportador **M-201** e um alarme “**Transportador vazio**” deve aparecer na tela de operação.
 - II. O motor **M-201** deve religar quando um novo tonel for detectado por **ZY-201**.
2. O nível do tanque **TP-01** estiver em 10% do total: nesse ponto, a chave de nível baixo, **LSL-201** (1 – Nível acima de **LSL-201** / 0 – Nível abaixo de **LSL-201**) atua e deve-se:
 - I. Fechar a válvula **FV-201**, desligar o motor do transportador **M-201** e um alarme “**Nível do TP-01 baixo**” deve aparecer na tela de operação.
 - II. O motor **M-201** somente pode religar após completado 50% do nível de **TP-01**.
3. O nível do Taque de Produto, **TP-01**, estiver em 95% do total. Nesse ponto, a chave de nível muito alto, **LSHH-201** (0 – Nível abaixo de muito alto / 1 – Nível muito alto) atua e deve-se:
 - I. Desligar a bomba **BA-101**, fechar as válvulas **FV-104** e **FV-105** e um alarme “**Nível do TP-01 alto**” deve aparecer na tela de operação.
 - II. A bomba **BA-101** somente pode religar somente após o nível de **TP-01** esvaziar até 50%, ou seja, novas bateladas **DEVEM** ser inibidas, até que o nível de **TP-01** reduza aos 50% novamente.

2.3. EMERGÊNCIA - ACIONAMENTO DO BOTÃO EMG:

Caso ocorra alguma falha na batelada, o operador deve acionar o botão de emergência (**EMG**), em evidência no painel de operação. Após o acionamento de **EMG**, a batelada deve ser descartada para o Tanque de Rejeitos, através da válvula **FV-106**, conforme a sequência:

- I. Fechar as válvulas **FV-101, 102 e 103**
- II. Após 3s, desligar **BA-101**, abrir **FV-104** e **FV-106** e fechar a **FV-105**.
- III. Após 5s, religar a bomba **BA-101** até o que o esgotamento do RM-01 **LT-101 = 0 mm**.

3. REQUISITOS DE IMPLEMENTAÇÕES PARA O TRABALHO:

Requisitos para a Automação do Processo

1. O processo possui dois modos de acionamento, manual (**MAN**) e automático (**AUTO**). No modo **AUTO** todos os acionamentos manuais dos motores do misturador, da bomba e do transportador, bem como das válvulas devem estar bloqueados. No modo **MAN**, deve ser possível acionar cada válvula, bem como o motor **M-101**, por meio da IHM desenvolvida.
2. As vazões de Gin, Vermouth, Líquido Refrigerante e Dry Martini são controladas e podem ser consideradas como:
 - Vazão de Gin (**FT-101**): 240 L/min;
 - Vazão de Vermouth (**FT-102**): 12 m³/h;
 - Vazão de Líquido Refrigerante: 200 L/min;
 - Vazão do produto Dry Martini (**FT-103**): 36 m³/h e
 - Vazão do produto através do bico injetor de envase (**FT-201**): 7,2 m³/h.

Portanto, para a simulação do processo é imprescindível calcular o **tempo correto** em que cada válvula permanecerá aberta para que os volumes totalizados sejam adequados em cada batelada. É imprescindível observar também, a **indicação do volume** dentro do reator **RM-01** que deverá corresponder ao **tempo correto** de cada totalização (**FQ-101**, **FQ-102** e **FQ-103**). Por exemplo, seguindo as vazões acima, quando a válvula de Gin for aberta, 2/3 (30L) do nível do tanque devem ser preenchidos em 7,5s e o mesmo raciocínio deve ser empregado nos demais fluidos. E por fim, a cada batelada, 45L de Dry Martini devem ser bombeados para o Tanque de Produto (**TP-01**) e, aplicando o mesmo raciocínio, 1/4 (45L) do nível do TP-01 deve ser preenchido em 4,5s.

3. O motor **M-101** possui um atuador, **SY-101**, que permite variação de sua velocidade. O sinal de entrada de **SY-101** deve ser um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) enviado pelo CP com amplitude de 24V_{DC}. Ou seja, deve-se utilizar uma saída digital a SSR (*Solid State Relay*). A frequência do sinal PWM enviado ao atuador **SY-101** é de **20 Hz** e os acionamentos devem respeitar a seguinte condição:
 - Sempre que o motor **M-101** for ligado, deve-se produzir uma variação de 0 a 100% da largura do pulso, em um período de **5s**.
 - Sempre que o motor M-101 for desligado, deve-se produzir uma variação de 100 a 0% da largura do pulso, em um período de **10s**.

Assim, tem-se uma variação da velocidade do motor do misturador, M-101, tanto em sua partida como em sua parada (conforme descreve a Figura 2).

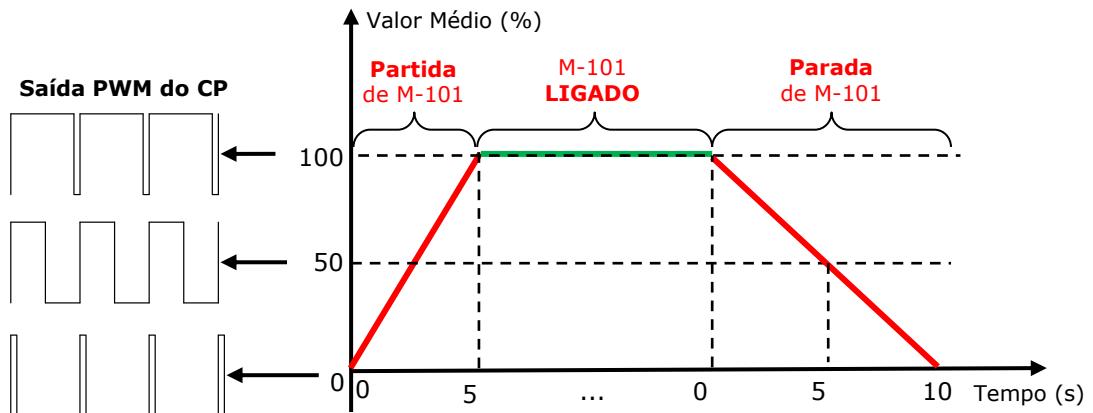


Figura 2. Acionamento de M-101.

Lembrando que para gerar o sinal PWM deve ser prevista uma saída digital SSR em um cartão do CP capaz de chavear um sinal em frequência elevada (até 1kHz, no máximo).

DICA: Para testar o seu PWM, crie uma *trend* de visualização no CoDeSys. Para tal, clique com o botão direito no mouse em *Application -> Add Object -> Trace*. Escolha um nome, ex.: PWM, e o objeto Trace será adicionado em seu projeto e uma janela com um gráfico irá se abrir. Ao lado direito, clique em *Configuration* e deixe coloque as configurações a seguir:

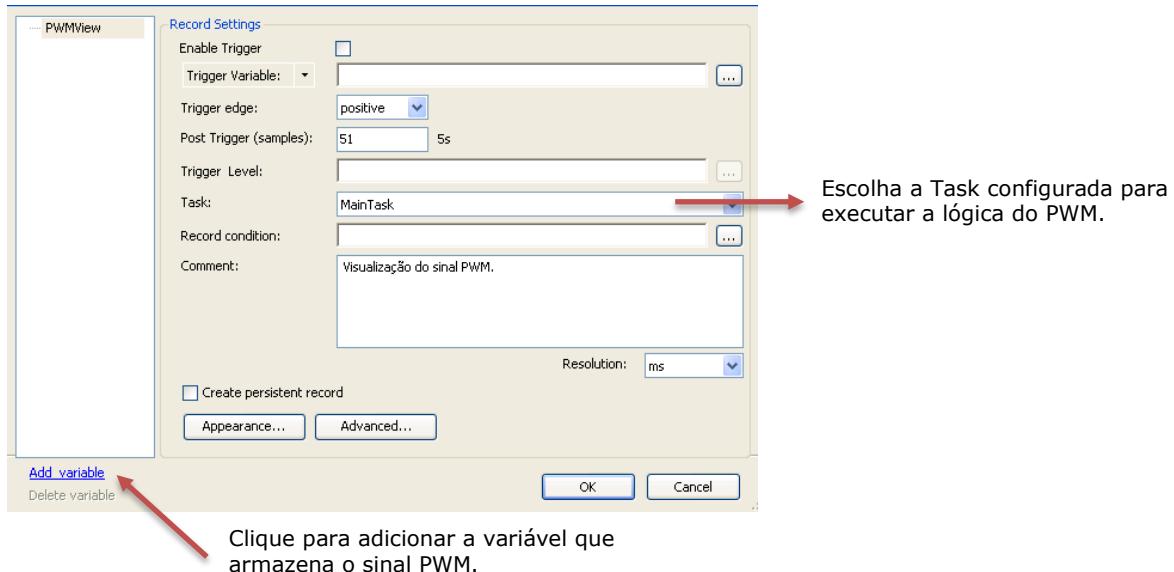


Figura 3. Configuração de um *Trace* (Gráfico) no CoDeSys.

Por último, clique em *Add variable* e adicione a variável em seu programa referente ao sinal PWM, configure cores, espessura da linha, etc., e clique em *OK*. Com o CoDeSys em modo RUN, clique com o botão direito do mouse sobre a *trend* configurada e escolha *Start Trace*.

4. Ao acionar o botão **EMG, em evidência**, no painel de operação (IHM), deve-se executar a sequência descrita na seção 2.3.

Requisitos para a IHM

1. O reator de mistura **RM-01** deve ser devidamente animado indicando, de forma clara:
 - a) O estado do motor do misturador, ligado ou desligado;
 - b) O nível do reator (em mm) e sensores discretos;
 - c) O modo de operação (AUTO-MAN);
 - d) A abertura das válvulas e
 - e) O estado do resfriamento, normal ou resfriado.
2. O tanque de produto **TP-01** deve ser devidamente animado indicando, de forma clara:
 - a) O nível do tanque (em mm) e sensores discretos;
 - b) O modo de operação (AUTO-MAN);
 - c) A abertura das válvulas e
 - d) Animação do bico ejetor sempre que um barril estiver à frente.
3. O transportador **TR-01** deve ser devidamente animado indicando, de forma clara:
 - a) O estado do motor do TR-01 (LIGADO ou DESLIGADO);
 - b) O modo de operação (AUTO-MAN);
 - c) O alinhamento dos barris e animação para enchimento destes;
 - d) Animação do sensor de proximidade discreto;
 - e) Animação do bico ejetor sempre que um tonel estiver à frente.
4. O estado do resfriamento, normal ou resfriado.
5. Cada totalizador deve ter sua respectiva indicação na tela de supervisão e controle. E quando o volume programado para a batelada for atingido, **o display deve indicar, seja por meio de pisca-pisca, ou alarme configurado para cada um.**
6. O totalizador de Dry Martini, além do volume de produto acumulado, deve também **apresentar a contagem de bateladas ocorridas.**
7. O botão de **EMG** deve estar disponível em qualquer tela do sistema de operação (IHM) e **deve ter comando do tipo retentivo de lógica inversa**, ou seja, o acionamento vai de “1” para “0” quando o operador acionar o botão.
8. Todos os alarmes gerados, conforme instruções descritas, **DEVEM** ser relacionados para **gerenciamento de alarmes**, ou seja, todos os alarmes devem ser registrados e disponibilizados para o operador realizar o reconhecimento, ou silenciar, o alarme. **DICA:** utilize os objetos de gerenciamento de alarmes disponibilizados pelo software SCADA utilizado.

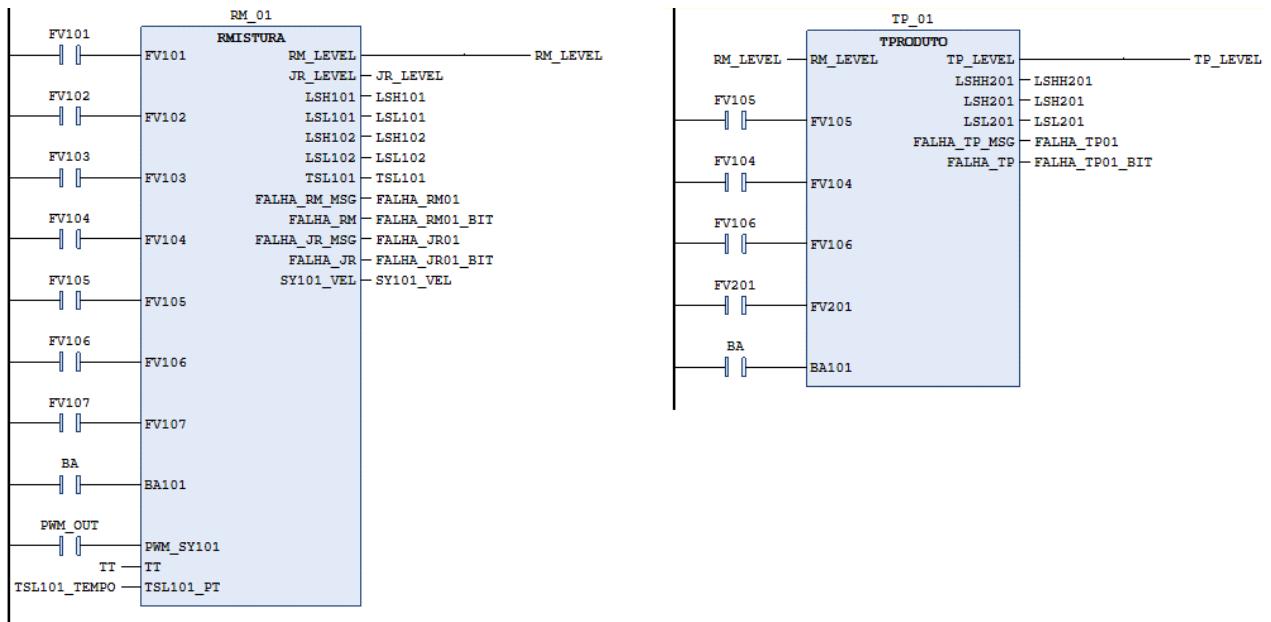
Requisitos para a Implementação

1. A configuração do sistema **DEVE** ser implementada em **MULTITAREFA** e cada tarefa **DEVE** ser **justificada no item 6 da documentação**, quanto ao tipo e quanto ao tempo de *scan*, se for o caso.
DICA: utilize tarefas separadas para realizar as simulações dos equipamentos.
2. **Toda a batelada** deve ser programada em alto nível, **utilizando a linguagem SFC**. As demais implementações devem ter suas linguagens devidamente escolhidas e justificadas no item 6 da documentação.
3. As demais implementações devem ter suas linguagens em **Diagrama Ladder (LD)** e **Diagrama de Blocos de Função (FBD)** devidamente escolhidas e **justificadas no item 6 da documentação**.
ATENÇÃO: apenas utilize o **Texto Estruturado (ST)** e a **Lista de Instruções (IL)** em casos de **extrema necessidade** e que seja **muito bem justificado**.

4. SOBRE O FUNCTION BLOCK DE SIMULAÇÃO

Dois FBs disponibilizados pelo Professor(a) da disciplina são importantes para o desenvolvimento do trabalho, o FB **RMISTURA** e o FB **TPRODUTO**. Ambos os FBs são apresentados na Figura 4, a seguir:

Figura 4. FBs de simulação do Reator de Mistura e do Tanque de Produto instanciados em um programa de linguagem Diagrama Ladder.



Um projeto em CoDeSys, TesteDM.project, também é disponibilizado pelo Professor(a) contendo os dois FBs instanciados em um programa Ladder. Neste programa, encontram-se descrições de funcionamento dos FBs RMISTURA e TPRODUTO e, portanto, os grupos de trabalho devem ler as

instruções e entender o funcionamento dos FBs, de maneira que a aplicação de automação desenvolvida deve atuar sobre eles, respeitando o requisito de ser uma aplicação **MULTITAREFA**.

É importante notar que estes FBs tem as vazões dimensionadas conforme o tempo da tarefa. Se a tarefa for de 100 ms, o FB **RMISTURA** corresponderá às vazões estabelecidas no item 2 da seção 3. Todavia, para efeitos de simulação, você pode configurar as vazões para serem um pouco mais lentas e com isso ter uma simulação mais factível. Por exemplo, se você escolher 200 ms para a **tarefa que contém o FB simulado**, você terá a vazão maior de todas, ou seja, a vazão de saída do RM-01 ($36 \text{ m}^3/\text{h}$) dividida por 2 e, portanto, igual a $18 \text{ m}^3/\text{h}$. Logo, para esvaziar 45 L do RM-01, você perceberá que isso ocorrerá em 9 s.

Para verificação dos tempos, basta utilizar um gráfico de tempo real no CoDeSys, um *Trace*, plotando o nível do tanque RM-01 pelo tempo e, assim, observando o tempo que se leva para encher utilizando uma determinada vazão, ou tempo que se leva para esvaziar o tanque. O tutorial de como criar um gráfico *Trace* no CoDeSys se encontra disponível no Moodle.