



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



ALCENIDE ELISIÁRIO BARBOSA

**AUTOMATIZAÇÃO DE ALIMENTADOR MOVEL COM CONTROLADOR
LÓGICO PROGRAMÁVEL**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

OURO PRETO, 2018

ALCENIDE ELISIÁRIO BARBOSA

**AUTOMATIZAÇÃO DE ALIMENTADOR MOVEL COM CONTROLADOR
LÓGICO PROGRAMÁVEL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri

Ouro Preto

Escola de Minas – UFOP

Julho / 2018

B238a Barbosa, Alcenide Elisiário.
Automatização de alimentador móvel com controlador lógico programável
[manuscrito] / Alcenide Elisiário Barbosa. - 2018.

104f.: il.: graf; tabs.

Orientadora: Prof^a. MSc^a. Karla Boaventura Pimenta Palmieri.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Automação. 2. Mineração. 3. Controlador Lógico Programável. I. Palmieri, Karla Boaventura Pimenta. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Monografia defendida e aprovada, em 17 de julho de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof.ª. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri - Orientadora



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Professor Convidado



Prof. Dr. Henor Artur de Souza – Professor Convidado

AGRADECIMENTO

A minha saudosa mãe.

RESUMO

A automação é hoje um dos pilares da produtividade e competitividade na indústria. A tecnologia tem disponível para a indústria diversos dispositivos para serem aplicados em automação industrial. Com o suporte de computadores industriais, sendo alimentados com informações de chão de fábrica e de atuadores para fazerem os devidos controles, o profissional de automação tem um enorme leque de possibilidades para automatizar o processos industriais. Este trabalho mostra a implementação de automatização de um alimentador móvel em uma usina de beneficiamento de minério, utilizando controlador lógico programável. O alimentador móvel é uma máquina que distribui minério em silos contínuos movimentando-se sobre trilhos. Foram utilizados recursos de lógica de programação em linguagem de blocos de função padrão IEC-61131-3. Para programação e aplicação da lógica utilizou-se o software para acesso ao controlador lógico programável, denominado CONCEPT. Após a implementação da lógica, tem-se uma máquina que opera sem a presença humana, possibilitando uniformidade e segurança nas operações.

Palavras chaves: Automação, mineração, Controlador Lógico Programável.

ABSTRACT

Automation is today one of the pillars of productivity and competitiveness in the industry. The technology has available to the industry various devices to be applied in industrial automation. With the support of industrial computers, being fed with factory floor information and actuators to make the proper controls, the automation professional has a huge range of possibilities to automate the industrial processes. This assignment shows the implementation of automation of a mobile feeder in an ore beneficiation plant, using programmable logic controller. The mobile feeder is a machine that distributes ore in continuous silos moving on rails. Programming logic features were used in IEC-61131-3 standard function block language. For programming and application of logic, the software called CONCEPT was used to access the programmable logic controller. After the implementation of logic, there is a machine that operates without human presence, allowing uniformity and safety in operations.

Key Words: Automation, mining, programable logic controler.

Sumário

1	Introdução	15
1.1	Objetivo	15
1.2	Estrutura do trabalho	16
2	Materiais e Métodos	17
2.1	Características dos Equipamentos	17
2.2	Operação Automática do Alimentador Móvel - Controle Básico.	20
2.3	Controles para Ajuste de Taxa de Alimentação da Usina.	20
2.4	Controle de Corte de Alimentação para Transposição de Silo Cheio.	21
2.5	Situações Operacionais	23
2.6	Grupos de Situações Operacionais	24
2.7	Desdobramento das Sequências Operacionais	29
2.8	Descritivo das Sequências Operacionais	32
2.9	Movimentação do alimentador móvel (silos contíguos operando).	62
2.9.1	Processo de movimentação e posicionamento do alimentador móvel:	63
2.9.2	Controle de velocidade de movimentação do alimentador móvel.	63
2.10	Identificação de Silo com Menor Nível	64
2.11	Caracterização de Silo Disponível, Silo Cheio ou Parado.	65
2.12	Controles Auxiliares	67
2.12.1	Tempo de Parada para descarga de minério	67
2.12.2	Controle de Taxa de Alimentação	67
2.13	Controlador Lógico Programável	68
2.13.1	Linguagens de Programação	69
2.13.2	<i>Software</i> de Programação	70
2.14	Sensores	70
2.15	Atuadores	70
2.16	Blocos de Funções Utilizados	71

2.16.1	Bloco de Função "AND"	71
2.16.2	Bloco de Função "OR"	72
2.16.3	Bloco de Função "XOR"	73
2.16.4	Bloco de Temporizador "TON"	73
2.16.5	Bloco de Temporizador "TOF"	74
2.16.6	Bloco Contador Crescente "CTU"	75
2.16.7	Bloco Contador Decrescente "CTD"	75
2.16.8	Bloco de Detecção de Borda "R_TRIG"	76
2.16.9	Bloco de Detecção de Borda "F_TRIG"	77
2.16.10	Bloco de Função Biestável "Reset" dominante (RS)	77
2.16.11	Bloco de Função Biestável "Set" dominante (SR)	78
2.16.12	Bloco de Soma "ADD"	78
2.16.13	Bloco de Subtração "SUB"	79
2.16.14	Bloco de Multiplicação "MUL"	80
2.16.15	Bloco de divisão "DIV"	80
2.16.16	Bloco de comparação "EQ"	81
2.16.17	Bloco de comparação "GT"	82
2.16.18	Bloco de comparação "LT"	82
2.16.19	Bloco de Seleção "SEL"	83
2.16.20	Bloco Multiplexador "MUX"	84
2.16.21	Bloco "LIMIT_IND"	84
2.16.22	Bloco de controle "PID_PI"	85
2.16.23	Blocos Derivados (DFB)	86
3	Implementação	88
3.1	Divisão das Seções do Programa	88
3.2	Acionamento do Movimento de Translação - Atribuição do destino	90
3.2.1	Implementação Lógica do Movimento de Translação	90

3.3	Identificação de posição	91
3.4	Posicionamento do alimentador sobre o silo	92
3.5	Identificação de silos parados - Não disponíveis	93
3.6	Identificação de Situações Operacionais	94
3.7	Ativação de Sequências de Movimentação	95
3.8	Sequências de Movimentação	96
3.9	Controle de velocidade de translação	98
3.10	Controle de Taxa	100
4	Conclusão	103

Índice de Figuras

Figura 1 - Fluxo Resumido de Alimentação da Usina de Classificação.....	16
Figura 2 - Distâncias Percorridas(m) pelo Minério nos TC´s 01 e TC-02.	18
Figura 3 - Distâncias Percorridas (m) pelo Minério no TC-03.....	19
Figura 4 - Distâncias Percorridas(m) pelo Minério no TC-04.....	19
Figura 5 - Fluxograma P&I do controle de taxa de alimentação.	68
Figura 6 - Bloco <i>AND</i> (Fonte: Schneider Eletric).	72
Figura 7 - Bloco <i>OR</i> (Fonte: Schneider Eletric).	72
Figura 8 - Bloco <i>XOR</i> (Fonte: Schneider Eletric).....	73
Figura 9 - Bloco <i>TON</i> (Fonte Schneider Eletric).....	74
Figura 10 - Bloco <i>TOF</i> (Fonte Schneider Eletric).	74
Figura 11 - Bloco <i>CTU</i> (Fonte Schneider Eletric).....	75
Figura 12 - Bloco <i>CTD</i> (Fonte Schneider Eletric).....	76
Figura 13 - Bloco <i>R_TRIG</i> (Fonte: Schneider Eletric).	76
Figura 14 - Bloco <i>F_TRIG</i> (Fonte: Schneider Eletric).	77
Figura 15 - Bloco <i>RS</i> (Fonte: Schneider Eletric).....	77
Figura 16 - Bloco <i>SR</i> (Fonte: Schneider Eletric).....	78
Figura 17 - Bloco <i>ADD</i> (Fonte: Schneider Eletric).	79
Figura 18 - Bloco <i>SUB</i> (Fonte: Schneider Eletric).	79
Figura 19 - Bloco <i>MUL</i> (Fonte: Schneider Eletric).....	80
Figura 20 - Bloco <i>DIV</i> (Fonte: Schneider Eletric).	81
Figura 21 - Bloco <i>EQ</i> (Fonte: Schneider Eletric).	81
Figura 22 - Bloco <i>GT</i> (Fonte: Schneider Eletric).	82
Figura 23 - Bloco <i>LT</i> (Fonte: Schneider Eletric).	83
Figura 24 - Bloco <i>SEL</i> (Fonte: Schneider Eletric).....	83
Figura 25 - Bloco <i>MUX</i> (Fonte Schneider Eletric).	84
Figura 26 - Bloco <i>LIMIT_IND</i> (Fonte: Schneider Eletric).	85
Figura 27 - Bloco <i>PID</i> (Fonte: Schneider Eletric).	85
Figura 28 - Exemplo de Bloco de Função Derivado (<i>DFB</i>).	87
Figura 29 - Árvore do Programa.....	89
Figura 30 - Lógica de Atribuição de Destino.	91
Figura 31 - Lógica (parcial) para identificação da posição do alimentador móvel.	92
Figura 32 - Lógica de movimentação (Avanço/Recuo) da translação.....	93

Figura 33 - Lógica para identificação de silos disponíveis em modo de simulação.....	94
Figura 34 - Lógica para identificação das "situações operacionais".	95
Figura 35 - Lógica de Ativação da Sequência "2C".	96
Figura 36 - Identificação de Sequência e Subsequência Operacional.	97
Figura 37 - Lógica do passo inicial da sequência de movimentação.....	98
Figura 38 - Lógica (parte) de atribuição de referência de velocidade de translação. ...	99
Figura 39 - Bloco PID programado para controle de nível.	100
Figura 40 - PID programado para controle de taxa.	101
Figura 41 - Gráfico da taxa de alimentação e nível médio dos silos.	102

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Dados dos Equipamentos do circuito de alimentação da usina. (Fonte: Vale S.A.)	17
Tabela 2 - Dados dos Equipamentos do circuito de alimentação da usina. (Fonte: Vale S.A.)	18
Tabela 3 – Distancias dos Silos	19
Tabela 4 - Tempo de translação entre as llinhas da Classificação.....	21
Tabela 5 - Situações Operacionais das Linhas de Produção da Usina de Classificação.	23
Tabela 6 - Grupo de Situações Operacionais "A".	24
Tabela 7 - Grupo de Situações Operacionais "B"	25
Tabela 8- Grupo de Situações Operacionais "C".....	26
Tabela 9 - Grupo de Situações Operacionais "D".	26
Tabela 10 - Grupo de Situações Operacionais "E".....	27
Tabela 11 - Grupo de Situações Operacionais "F".	28
Tabela 12 - Grupo de Situações Operacionais "G".	28
Tabela 13 - Grupo de Situações Operacionais "H".	29
Tabela 14 - Subsequências do Grupo B.	30
Tabela 15 - Subsequências do Grupo C.	30
Tabela 16 - Subsequências do Grupo D.	30
Tabela 17 - Subsequências do Grupo E.....	31
Tabela 18 - Subsequências do Grupo F.....	31
Tabela 19 - Subsequências do Grupo G.	31
Tabela 20 - Tempos para Grupo de Sequências 2.	33
Tabela 21- Tempos para Grupo de Sequências 5.	34
Tabela 22- Tempos e destinos para Grupo de Sequências 6.	35
Tabela 23 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 16.	36
Tabela 24 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 17.	37
Tabela 25 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 24.	38
Tabela 26 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 34.	39
Tabela 27 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 40.	40
Tabela 28 – Tempos e destinos para o grupo de Sequências 4.....	41
Tabela 29 – Tempos e destinos para o grupo de Sequências 8.....	43
Tabela 30 – Tempos e destinos para o grupo de Sequências 9.....	44
Tabela 31 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 12.	45

Tabela 32 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 23.	47
Tabela 33 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 10.	48
Tabela 34 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 20.	49
Tabela 35 - Sobreposição de Situação operacional.	50
Tabela 36 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 11.	51
Tabela 37 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 13.	52
Tabela 38 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 14.	53
Tabela 39 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 18.	54
Tabela 40 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 19.	55
Tabela 41 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 25.	55
Tabela 42 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 28.	56
Tabela 43 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 37.	57
Tabela 44 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 38.	58
Tabela 45 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 41.	59
Tabela 46 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 44.	59
Tabela 47 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 52.	60
Tabela 48 - Relação Silo x Posição (m).	92

1 Introdução

A Indústria de mineração possui em suas instalações grandes máquinas para processamento de seus produtos. Algumas destas máquinas foram projetadas há muitos anos, sem o conceito de automação, exigindo operações manuais e a presença constante de operadores.

A automação como o uso de comandos lógicos de programáveis e de equipamentos mecanizados para substituir atividades manuais que envolvem tomadas de decisão e comandos-resposta de seres humanos (LAMB, 2015), vem de encontro a necessidade de modernização de equipamentos que até então operam de forma manual.

A modernização industrial surge com o intuito de adaptação às exigências e competitividade do mercado. Pode-se dizer que a automação num processo produtivo tem a finalidade de facilitar estes processos.

1.1 Objetivo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e implementação da automatização de um alimentador móvel em uma usina de classificação de minério localizada em Ouro Preto, MG. Esta usina onde opera o alimentador móvel possui seis linhas de produção, que operam com alimentadores vibratórios. Estes alimentadores por sua vez, operam com velocidade variável em função de ajustes definidos pelos processos subsequentes.

O alimentador móvel é uma máquina que desloca sobre seis silos horizontais para abastecê-los conforme apresentado no final do fluxo apresentado na Figura 1. O mesmo faz o abastecimento dos silos priorizando basicamente o silo mais vazio. Devido às variações de processo da Usina de beneficiamento, os silos não têm consumo uniforme, gerando níveis diferentes, que requerem um comportamento diferenciado de abastecimento. Outro fator que gera diferenças nos níveis dos silos são as paradas individuais das linhas de processo, devido a outras interferências, tais como manutenções corretivas e/ou preventivas. Em caso de silos com nível muito alto, ou em que o alimentador do mesmo esteja parado, é necessário interromper o fluxo de minério para que o alimentador móvel possa transladar por cima do

silos que está com nível muito alto e/ou parado. Os controles para atuar nas diferentes situações citadas foram implementados em controlador lógico programável (CLP) através de programação IEC-61131-3 utilizando Diagramas de Bloco de Funções (FBD).

Foi feito um levantamento das situações operacionais da planta, e um mapeamento das possíveis operações e dos possíveis controles necessários para desenvolvimento da programação lógica para atuação e operação automática do alimentador móvel.

1.2 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em 4 capítulos assim distribuídos:

O capítulo 1 mostra a motivação do trabalho e uma introdução ao problema. No capítulo 2 é descrito o processo no qual está o objeto do trabalho bem como a caracterização dos equipamentos envolvidos, o descritivo das funções utilizadas no programa do controlador programável.

No capítulo 3 é descrito os controles desenvolvidos e implementados no controlador lógico programável (CLP), divisão do programa dentro do CLP e a lógica implementada.

No capítulo seguinte é apresentada a conclusão.

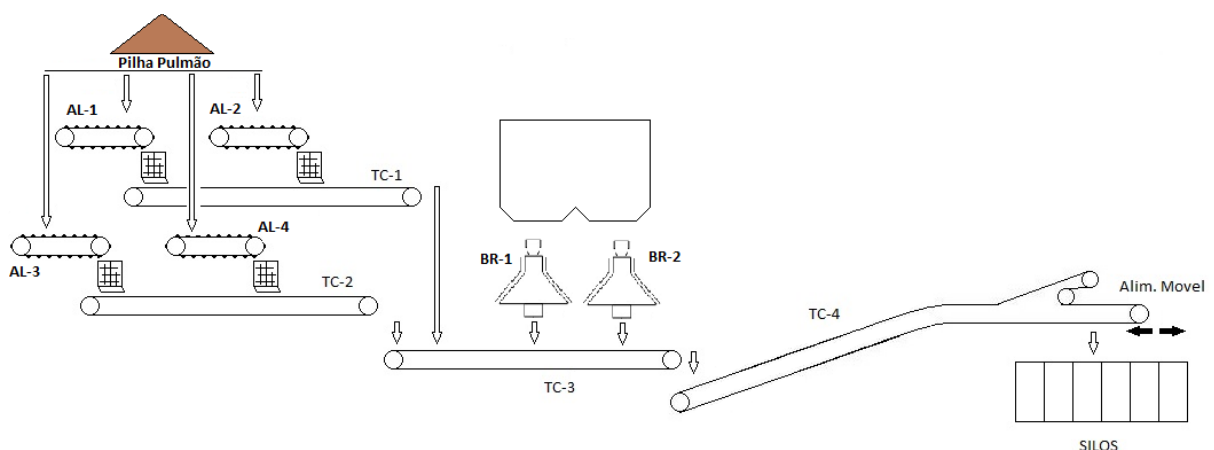


Figura 1 - Fluxo Resumido de Alimentação da Usina de Classificação.

2 Materiais e Métodos

A área onde está inserido o equipamento objeto deste trabalho é o circuito de classificação da usina de beneficiamento de minério, mais precisamente o circuito de alimentação dos silos. Os equipamentos que compõem o circuito de alimentação da usina de classificação são:

- Alimentadores de Sapatas AL01, AL02, AL03 e AL04;
- Transportadores de Correia TC01, TC02, TC03 e TC04;
- Balança Integradora do TC03.

Os britadores BR01 e BR02, embora não façam parte diretamente da alimentação, devem ser considerados no cálculo da taxa de alimentação da Usina de Classificação devido ao fato de que os mesmos descarregam o minério britado sobre a correia transportadora TC03.

2.1 Características dos Equipamentos

A Tabela 1 mostra os tempos de percurso do minério sobre os transportadores até atingir a descarga do alimentador móvel sobre os silos.

Tabela 1 - Dados dos Equipamentos do circuito de alimentação da usina. (Fonte: Vale S.A.)

Tempos de Percurso do Minério sobre os Transportadores (Calculados com Dados dos Projetos, até o Silo 06) (em segundos).				
	AL-01	AL-02	AL-03	AL-04
Sobre o TC01	26	18	-	-
Sobre o TC02	-	-	26	18
Sobre o TC03	62	62	56	56
Sobre o TC04	76	76	76	76
Percurso Total	164	157	158	150
Sobre o TC03 (Até a balança integradora)		52		46
Percurso total até a balança integradora	78	70	72	64
Sobre TC04 do Silo 01 ao Silo 06	12			
No TC03 até Descarga do TC04	8	8	0	0
Até a descarga do TC02	34	26	26	18

A Tabela 2 apresenta os dados destes equipamentos. As capacidades dos equipamentos darão subsídios para ajuste do controle de taxa, uma vez que não se pode permitir taxas

superiores a capacidade destes equipamentos, sob pena de danificá-los. Os tempos de percurso do minério nos equipamentos serão utilizados para atuar nos cortes de alimentação para transposição de silos indisponíveis.

Tabela 2 - Dados dos Equipamentos do circuito de alimentação da usina. (Fonte: Vale S.A.)

Características dos Transportadores				
	TC01	TC02	TC03	TC04
Capacidade (t/h)	2560	2560	3070	3070
Distância entre Tambores (m)	59,5	59,5	137,5	228
Distância entre Carga e Descarga (m)	46	46	135,37	219,446
Distância entre Carga e Descarga (m)	32,6	32,6	121,37	
Distância Entre Carga e Balança	113,37	--	-	--
Distância Entre Carga e Balança	--	99,37	-	--
Velocidade (m/s)	1,78	1,78	2,18	2,87

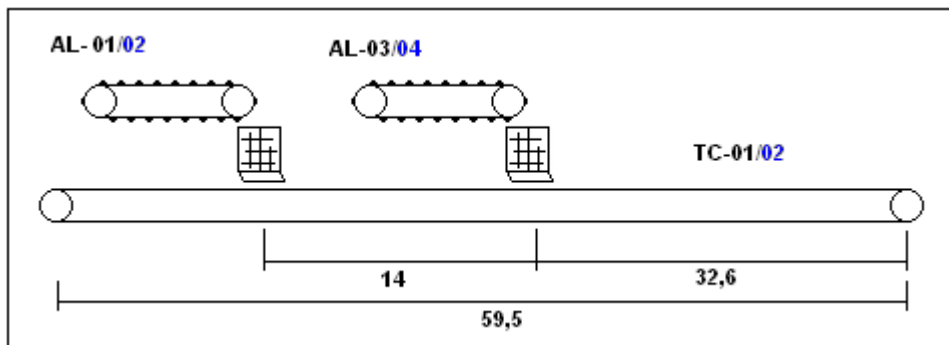


Figura 2 - Distâncias Percorridas(m) pelo Minério nos TC's 01 e TC-02.

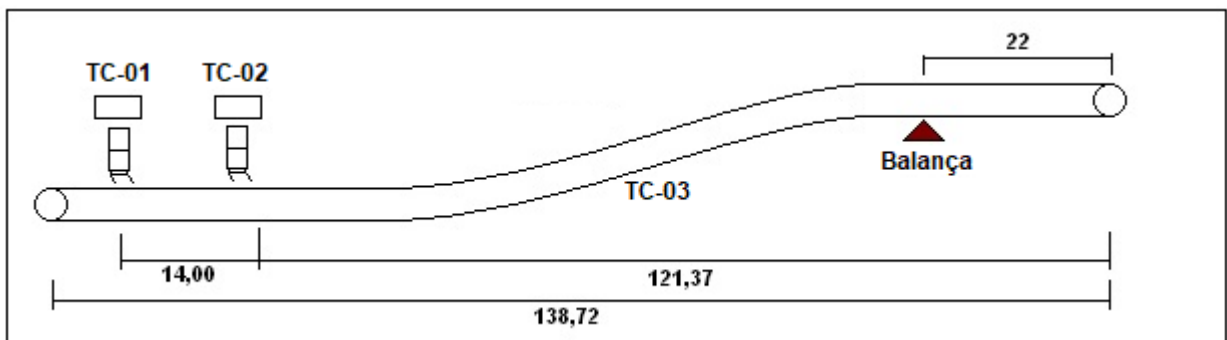


Figura 3 - Distâncias Percorridas (m) pelo Minério no TC-03.

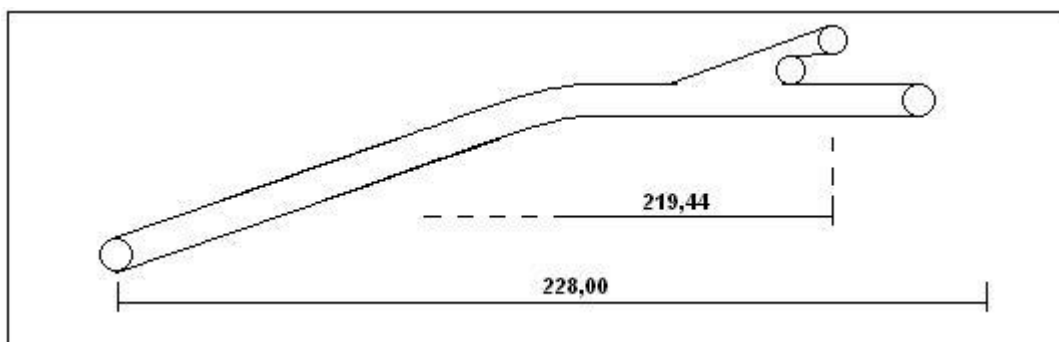


Figura 4 - Distâncias Percorridas(m) pelo Minério no TC-04.

Tabela 3 – Distancias dos Silos

Outros Dados						
Distância dos silos 01 ao silo 06: 35m						
	1	2	3	4	5	6
Posição nos Silos (m)	0	7	14	21	28	35

2.2 Operação Automática do Alimentador Móvel - Controle Básico.

O controle básico do alimentador móvel consiste de manter os níveis dos silos em um valor médio de 55%. Este valor foi obtido através de testes de operações manuais em que foi observado que devido às características de acomodação do minério, valores acima de 55%, provocam um "afunilamento" do silo interferindo na avaliação de capacidade dos silos. Para tratar este controle existe uma malha que varia a velocidade dos alimentadores na Pilha de "Run of Mine" (ROM) (Alimentadores AL01, AL02, AL03 e AL04). O range de velocidade dos alimentadores da Pilha de ROM varia de 600 a 1800 rpm. Caso o consumo dos silos fosse constante e igual, bastaria que o alimentador ficasse transladando do primeiro silo ao último e vice-versa para que se mantivesse o nível médio. Mas esta não é a realidade do processo.

2.3 Controles para Ajuste de Taxa de Alimentação da Usina.

O Controle de taxa de alimentação da Usina, também atua na velocidade dos alimentadores da pilha pulmão, trabalhando para que a taxa de alimentação da Usina não ultrapasse os limites de projeto das correias transportadoras que alimentam o circuito de classificação (3070 t/h). Este controle é influenciado pelo funcionamento dos Britadores Terciários (BR01 e BR02), que reduz o limite desta taxa em 150 t/h, caso o BR01 esteja operando, e em 400 t/h, caso o BR02 esteja operando. Essa diferença na redução de taxa dos britadores é em função dos mesmos serem de modelos diferentes e por consequência de capacidade também diferente.

O controle é feito com malhas de controle no Controlador Lógico Programável. São duas malhas de controle trabalhando em cascata. O Objetivo primário é manter o nível médio dos silos em 55%. O nível médio é calculado entre as linhas que estão operando de forma contígua.

A malha de controle de nível vai gerar uma saída de 0 a 100%, que será escalonada para gerar um *set point* de 0 a 3050 t/h para a segunda malha de controle.

2.4 Controle de Corte de Alimentação para Transposição de Silo Cheio.

O Processo de movimentação do alimentador móvel vai alimentar os silos contíguos procurando manter o nível médio dos silos em 55%. Vai transpor o silo não disponível (linha parada ou cheia) acionando o controle de corte de alimentação (parada dos alimentadores da pilha de ROM).

Este controle desliga os alimentadores da pilha pulmão por um determinado tempo, para que o alimentador móvel possa transpor o silo não disponível, evitando o entupimento do “*shut*” de descarga do alimentador. Caso algum britador esteja operando, este controle também atua nos alimentadores dos mesmos.

Para que o alimentador móvel possa transpor a linha que não está operando, a parada dos alimentadores na Pilha Pulmão deve acontecer cerca de 170 segundos antes desta transposição. O tempo de duração do corte é o tempo que o alimentador móvel leva para transpor a linha ou as linhas que estão paradas. Os tempos são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Tempo de translação entre as linhas da Classificação.

Linhas	Tempo de Translação entre os Silos (s)				
	2	3	4	5	6
1	37	74	111	148	180
2	-	37	74	111	143
3	-	-	37	74	106
4	-	-	-	37	69
5	-	-	-	-	32

Exemplo de Aplicação dos Tempos Citados na Tabela 4:

Supondo que a Linha 2 não esteja disponível (Silo Cheio ou Linha Parada), o processo de corte poderá ocorrer da seguinte forma:

Considerando as seguintes premissas:

- Alimentador móvel em modo “Automático”;
- Alimentador móvel não estiver operando em outra sequência de transposição;
- TC03 e TC04 operando;

- d. TC01 ou TC02 operando;
- e. Nível do silo 1 menor que 50%.

Ao alcançar o silo 4, o alimentador móvel entra no chamado “processo de transposição” ou sequência operacional, que no programa do CLP será denominado Sequência 2A, executando os passos a seguir:

1. Permanece parado no silo 04 por 0 segundo;
2. Translada para o silo 06;
3. Permanece parado no silo 06 por 30 segundos;
4. Translada para o silo 04;
5. Permanece parado no silo 04 por 20 segundos;
6. Translada para o silo 01;
7. Antes de chegar ao silo 01, o programa faz uma avaliação do nível do mesmo para calcular o tempo que o alimentador móvel irá ficar parado quando estiver sobre este silo;
8. O alimentador móvel permanece parado pelo tempo calculado no passo 7(varia de 120 a 150 segundos);
9. Translada para o silo 04;
10. Chegando ao silo 04 a sequência 2A é desativada.

$\text{Passo 1} + \text{Passo 2} + \text{Passo 3} + \text{Passo 4} + \text{Passo 5} = 0 + 69 + 30 + 69 + 30 = 198$
segundos

Como o minério leva 170 segundos para percorrer dos alimentadores da pilha pulmão até os silos da classificação, então 28 segundos (198-170) após iniciar o passo 1, o sistema interrompe o funcionamento dos alimentadores da pilha pulmão por 74 segundos (tempo para transladar do silo 3 até o silo 1), libera novamente por 120 segundos (tempo definido pelo passo 8) e interrompe novamente por mais 74 segundos (tempo de translação do silo 1 para o silo 3).

2.5 Situações Operacionais

De acordo com a disponibilidade dos silos da Usina de Classificação, podem-se ter várias situações operacionais, que irão demandar uma sequência de passos para que o alimentador móvel possa transladar e transpor os silos.

Tabela 5 - Situações Operacionais das Linhas de Produção da Usina de Classificação.

Situação Operacional	Linhas Paradas (Silo Indisponível)						Situação Operacional	Linhas Paradas (Silo Indisponível)					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
0							32						
1	■						33	■					
2		■					34		■				
3	■						35	■					
4			■				36			■			
5	■						37	■					
6		■					38		■				
7	■						39	■					
8				■			40				■		
9	■						41	■					
10		■					42		■				
11	■						43	■					
12			■				44			■			
13	■						45	■					
14		■					46		■				
15	■						47	■					
16					■		48					■	
17	■						49	■					■
18		■					50		■				■
19	■						51	■					■
20			■				52			■			■
21	■						53	■					■
22		■					54		■				■
23	■						55	■					■
24				■			56				■		■
25	■						57	■					■
26		■					58		■				■
27	■						59	■					■
28			■				60			■			■
29	■						61	■					■
30		■					62		■				■
31	■						63	■					■

São 63 situações operacionais de produção e 1 de Usina parada, conforme Tabela 5. Nas Situações indicadas as linhas de produção marcadas em preto estão paradas e/ou com silo cheio, ou seja, não estão disponíveis para abastecimento pelo Alimentador móvel.

Estas situações operacionais são divididas em grupos, por semelhança de passos operacionais para transposição de silos não disponíveis. Para estes grupos vão ser tratadas as “Sequências Operacionais”.

2.6 Grupos de Situações Operacionais

Para facilitar o tratamento da lógica de controle, as sequências operacionais foram divididas em grupos, de forma que a lógica necessária para operação nas sequências do mesmo grupo seja semelhante, variando somente os tempos de atuação.

Grupo “A”

Este grupo se caracteriza por linhas operando sequencialmente, ou seja, não há silos indisponíveis entre os silos que estão operando. A tabela a seguir apresenta as situações operacionais pertencentes a este grupo.

Tabela 6 - Grupo de Situações Operacionais "A".

Situação Operacional	Grupo A					
0	█	█	█	█	█	█
1	█	█	█	█	█	█
3	█	█	█	█	█	█
7	█	█	█	█	█	█
15	█	█	█	█	█	█
32	█	█	█	█	█	█
33	█	█	█	█	█	█
35	█	█	█	█	█	█
39	█	█	█	█	█	█
48	█	█	█	█	█	█
49	█	█	█	█	█	█
51	█	█	█	█	█	█
56	█	█	█	█	█	█
57	█	█	█	█	█	█
60	█	█	█	█	█	█

O Controle para o Grupo A consiste em avaliar qual o próximo silo a ser abastecido, deslocar até ele e permanecer por um tempo pré-definido. Salvo condições excepcionais, o alimentador móvel, neste grupo fica em um movimento de “vai-e-vem” deslocando-se do primeiro silo disponível até o último, retornando em seguida ao primeiro.

Grupo “B”

Este grupo se caracteriza por 3 ou 4 linhas operando sequencialmente, mais uma linha operando separada por 1 silo indisponível. A tabela a seguir apresenta as situações operacionais pertencentes a este grupo.

Tabela 7 - Grupo de Situações Operacionais "B".

Situação Operacional	Grupo B					
2		■	■			
5	■		■			
6		■	■	■		
16					■	
17	■				■	
24				■	■	
34		■				■
40				■	■	■

O controle sequencial deste grupo consiste em fazer duas interrupções nos alimentadores da pilha de ROM (AL01 a AL04), com duração suficiente para transpor a linha parada. A primeira interrupção se dá para que o alimentador móvel possa transpor o silo indisponível e assim chegar até o silo que está operando isoladamente abastecê-lo e retornar. A segunda interrupção é necessária para que o alimentador móvel transponha o silo indisponível voltando a abastecer as linhas que estão operando juntas (sem silos indisponíveis entre elas).

Grupo “C”

Este grupo se caracteriza por 5 silos operando e 1 parado, nas configurações:

- 2 operando - 1 parado - 3 operando.

- 3 operando – 1 parado – 2 operando.

Tabela 8- Grupo de Situações Operacionais "C".

Situação Operacional	Grupo C					
4	■	■	■	■	■	■
8	■	■	■	■	■	■

O controle sequencial desde grupo consiste em fazer duas interrupções nos alimentadores da pilha de ROM (AL01 a AL04), com duração suficiente para transpor a linha parada. A primeira interrupção se dá para que o alimentador móvel possa transpor o silo indisponível e assim chegar até os silos que estão operando em grupo de 2 para abastecê-los e retornar. A segunda interrupção é necessária para que o alimentador móvel transponha o silo indisponível voltando a abastecer os silos que estão operando juntos em grupo de 3.

Grupo "D"

Este grupo se caracteriza por 4 silos operando em grupos de 2, com 1 ou 2 silos indisponíveis entre eles. A Tabela 9 demonstra graficamente a situação.

Tabela 9 - Grupo de Situações Operacionais "D".

Situação Operacional	Grupo D					
1	■	■	■	■	■	■
9	■	■	■	■	■	■
12	■	■	■	■	■	■
36	■	■	■	■	■	■

O controle desde grupo consiste de permanecer em movimento de vai-e-vem sobre 2 silos contíguos, até que os níveis dos outros 2 silos alcancem o valor abaixo de 50%. Atingindo este limite (<50%), faz-se uma interrupção nos alimentadores da Pilha de ROM (AL01 a AL04), para que o alimentador móvel possa transpor os silos indisponíveis. Após a transposição, o Alimentador móvel permanece em movimento de “vai-e-vem” até que os

outros 2 silos contíguos acusem nível baixo, quando então inicia-se o processo de transposição, repetindo a sequência para os outros silos.

Grupo “E”

Este grupo se caracteriza por 4 silos de produção operando, sendo 2 contíguos e 2 operando intercalados com 1 silo indisponível. A Tabela 10 apresenta graficamente estas situações.

Tabela 10 - Grupo de Situações Operacionais "E".

Situação Operacional	Grupo E
1	
10	
20	

O Controle desde grupo consiste em interromper a operação dos alimentadores da pilha de ROM, por quatro vezes para que o alimentador móvel possa transpor os silos indisponíveis, abastecer os silos que estão operando isolados e retornar aos silos que estão operando em modo contíguo.

Grupo “F”

Este grupo se caracteriza por 2 silos operando contíguos mais 1 silo operando isolado por silos indisponíveis entre eles. A situação operacional “18” é uma justaposição das situações “19” e “50”, e será adotado um tratamento especial para esta situação conforme apresentado nas explicações das “Sequências Operacionais”. A Tabela 11 apresenta um resumo gráfico deste grupo.

O controle sequencial desde grupo consiste em fazer duas interrupções nos alimentadores da Pilha de ROM (AL01 a AL04), com duração suficiente para transpor a linha parada. A primeira interrupção se dá para que o alimentador móvel possa transpor o silo indisponível e assim chegar até o silo que está operando isoladamente abastecê-lo e retornar. A segunda interrupção é necessária para que o alimentador móvel transponha o silo indisponível voltando a abastecer os silos que estão operando contíguos.

Tabela 11 - Grupo de Situações Operacionais "F".

Situação Operacional	Grupo F				
1					
11	█	█	█	█	█
13	█	█	█	█	█
14	█	█	█	█	█
18	█	█	█	█	█
19	█	█	█	█	█
25	█	█	█	█	█
28	█	█	█	█	█
37	█	█	█	█	█
38	█	█	█	█	█
41	█	█	█	█	█
44	█	█	█	█	█
50	█	█	█	█	█
52	█	█	█	█	█

Grupo "G"

Este grupo se caracteriza por 2 ou 3 silos operando isoladamente, ou seja, com silos indisponíveis entre eles. A Tabela 12 apresenta graficamente estas situações.

Tabela 12 - Grupo de Situações Operacionais "G".

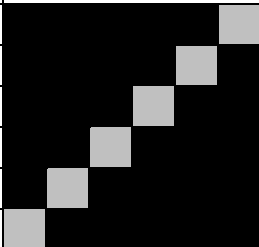
Situação Operacional	Grupo G				
1					
21	█	█	█	█	█
22	█	█	█	█	█
23	█	█	█	█	█
26	█	█	█	█	█
27	█	█	█	█	█
29	█	█	█	█	█
30	█	█	█	█	█
42	█	█	█	█	█
43	█	█	█	█	█
45	█	█	█	█	█
46	█	█	█	█	█
53	█	█	█	█	█
54	█	█	█	█	█
58	█	█	█	█	█

O Controle sequencial para as situações deste grupo consiste em transladar o alimentador móvel até o silo com menor nível, ligar os alimentadores da pilha de ROM (AL01 a AL04) por determinado tempo, aguardar a descarga deste minério no silo, transladar até o silo com nível mais baixo repetindo o processo.

Grupo “H”

Este grupo se caracteriza por ter somente uma linha operando. A Tabela 13 apresenta graficamente estas situações.

Tabela 13 - Grupo de Situações Operacionais "H".

Situação Operacional	Grupo H
1	
31	
47	
55	
59	
61	
62	

O Controle para este grupo consiste em transladar para o silo que está operando. Aguardar o nível do silo abaixar. Assim que o nível atinge um valor menor que 50%, ligam-se os alimentadores da pilha pulmão por 100 segundos. Aguarda-se 3 minutos e faz-se nova avaliação do nível, repetindo o processo.

2.7 Desdobramento das Sequências Operacionais

De acordo com a disponibilidade dos silos da Usina de Classificação, podem-se ter várias situações operacionais, que irão demandar uma sequência de passos para que o alimentador móvel possa transladar e transpor os silos indisponíveis. Cada grupo de situações operacionais apresentados se desdobra em outras sequências operacionais, aqui denominadas de subsequência operacional, totalizando 94 sequências operacionais.

Para o Grupo “A”, somente se faz o controle buscando abastecer o silo com menor nível. Na operação desde grupo, há algumas atuações na velocidade de translação do

alimentador móvel. Caso o silo de destino do mesmo não esteja com nível crítico, e o nível do silo em que o Alimentador móvel estiver passando sobre ele, for menor que 55%, o controle irá reduzir a velocidade de translação. Esta ação é adotada para tentar equalizar os níveis dos silos reduzindo a diferença entre os mesmos.

As situações operacionais são dinâmicas, podendo alterar a qualquer momento. Porém as sequências operacionais são estáticas e únicas. Ou seja, uma vez iniciada a sequência, a mesma inibe a o início de outra sequência qualquer. Também uma vez iniciada, a sequência não será interrompida, a não ser por condições especiais (defeito, entupimentos, etc.).

O Grupo “B” se desdobra em 23 sequências de operação, assim distribuídas:

Tabela 14 - Subsequências do Grupo B.

Situação 2	5 Sequências
Situação 5	2 Sequências
Situação 6	2 Sequências
Situação 16	5 Sequências
Situação 17	2 Sequências
Situação 24	2 Sequências
Situação 34	2 Sequências
Situação 40	2 Sequências

O Grupo “C” se desdobra em 8 sequências de operação, assim distribuídas:

Tabela 15 - Subsequências do Grupo C.

Situação 4	4 Sequências
Situação 8	4 Sequências

O Grupo “D” se desdobra em 6 sequências de operação, assim distribuídas:

Tabela 16 - Subsequências do Grupo D.

Situação 9	3 Sequências
Situação 12	3 Sequências

O Grupo “E” se desdobra em 4 sequências de operação, assim distribuídas:

Tabela 17 - Subsequências do Grupo E.

Situação 10	2 Sequências
Situação 20	2 Sequências

O Grupo “F” se desdobra em 14 sequências de operação, assim distribuídas:

Tabela 18 - Subsequências do Grupo F.

Situação 11	1 Sequência
Situação 13	1 Sequência
Situação 14	1 Sequência
Situação 18	2 Sequências
Situação 19	1 Sequência
Situação 25	1 Sequência
Situação 28	1 Sequência
Situação 37	1 Sequência
Situação 38	1 Sequência
Situação 41	1 Sequência
Situação 44	1 Sequência
Situação 50	1 Sequência
Situação 52	1 Sequência

O Grupo “G” se desdobra em 14 sequências de operação, assim distribuídas:

Tabela 19 - Subsequências do Grupo G.

Situação 21	1 Sequência
Situação 22	1 Sequência
Situação 23	1 Sequência
Situação 26	1 Sequência
Situação 27	1 Sequência
Situação 29	1 Sequência
Situação 30	1 Sequência
Situação 42	1 Sequência
Situação 43	1 Sequência
Situação 45	1 Sequência
Situação 46	1 Sequência
Situação 53	1 Sequência
Situação 54	1 Sequência

O Grupo “H”, como já foi dito, não tem sequência de translação para o alimentador móvel, uma vez que o mesmo permanece parado sobre o único silo em operação.

2.8 Descritivo das Sequências Operacionais

Todas as sequências operacionais só serão ativadas com as condições operacionais a seguir:

- TC01 e/ou TC02 operando em modo "Automático";
- TC03 e TC04 operando em modo "Automático";
- Alimentador móvel em modo "Automático".
- Nenhuma outra sequência ativada;

Grupo B

Situação 2

Esta situação ocorre quando se tem o silo 2 parado e os demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 5 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silo 2 não disponível;
- Alimentador móvel posicionado no silo de “ativação”;
- Silo 1 com nível menor que 50%;
- Silo 4 com nível maior que 45%, para sequências 2A, 2B, 2C e 2D;
- Silo 5 com nível maior que 50% para sequências 2B e 2C;
- Silo 6 com nível maior que 60% para sequências 2D e 2E.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o alimentador móvel estiver ao lado do silo 2, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada até o silo 1, aguarda descarregar o minério e translada de volta para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Tempos para Grupo de Sequências 2.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
2A	Silo 4	Silo 4	0	Silo 6	30	Silo 4	20	Silo 1	120	*	-
2B	Silo 5	Silo 5	0	Silo 6	30	Silo 4	32	Silo 1	120	*	-
2C	Silo 6	Silo 6	0	Silo 6	30	Silo 4	40	Silo 1	120	*	-
2D	Silo 4	Silo 4	0	Silo 5	15	Silo 4	50	Silo 1	120	*	-
2E	Silo 3	Silo 3	0	Silo 5	30	Silo 4	0	Silo 1	120	*	-

(tempo de pausa em "segundos")
 * Silo que estiver com nível mais baixo.

Interpretação da Tabela para Sequência 2A:

- Passo 1 – Translação para o silo 4 e aguardar 0 segundos;
- Passo 2 – Translação para o silo 6 e aguardar 30 segundos;
- Passo 3 – Translação para o silo 4 e aguardar 20 segundos;
- Passo 4 – Translação para o silo 1 e aguardar 120 segundos;
- Passo 5 – Translação para o silo de menor nível.

Durante os passos de movimentação citados acima, entra em ação o processo de corte de alimentação para que o Alimentador móvel possa transpor o silo 2, evitando entupimento durante esta transposição. São efetuadas 2 paradas nos alimentadores da pilha pulmão, com duração de 74 segundos cada (tempo necessário para passar pelo silo 2). O tempo entre as duas paradas é igual ao tempo de assinalado no passo 4.

O tempo de início do corte é calculado pela soma dos tempos de translação e pausa subtraindo o tempo de deslocamento do minério dos alimentadores da pilha pulmão até os silos da classificação.

$$TMR1 = (TRL01 + TRL02 - 170)$$

Sendo:

- TMR1 – Tempo para Início do Primeiro Corte na Alimentação;
 TRL01 – Tempo de duração passo 2;
 TRL02 – Tempo de duração passo 3.

Situação 5

Esta situação ocorre quando os silos 1 e 3 estão parados e os demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 2 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 1 e 3 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado sobre o silo de “ativação”;
- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Silo 2 com nível menor que 50%;
- Silo 4 e 5 com nível maior que 45% para sequência 5A;
- Silo 5 com nível maior que 45% para sequência 5B.

Movimentos de Translação

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o Alimentador móvel estiver ao lado do silo 3, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada até o silo 2, aguarda descarregar o minério e translada de volta para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21- Tempos para Grupo de Sequências 5.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Destino	Pausa	Destino	Pausa	Destino	Pausa	Destino	Pausa	Destino	Pausa
5A	Silo 4	Silo 4	0	Silo 6	33	Silo 4	20	Silo 1	120	*	-
5B	Silo 6	Silo 6	0	Silo 6	50	Silo 4	32	Silo 1	120	*	-

(tempo de pausa em "segundos")
* Silo que estiver com nível mais baixo.

Situação 6

Esta situação ocorre quando se tem os silos 2 e 3 parados e os demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 2 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 2 e 3 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado no silo de “ativação”;
- Nível médio dos silos que estão operando contíguos maiores que 50%;
- Silo 1 com nível menor que 50%;
- Silos 4 e 5 com nível maior que 45% para sequência 6A;
- Silo 5 com nível maior que 45% para sequência 6B.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o Alimentador móvel estiver sobre o silo 4, ou seja, ao lado do silo 3, já não terá minério descarregando. Então o Alimentador móvel translada até o silo da linha 1, aguarda descarregar o minério e translada de volta para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e tempos de pausas são apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22- Tempos e destinos para Grupo de Sequências 6.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
6A	Silo 4	4	0	6	34	4	30	1	120	*	-
6B	Silo 6	6	0	6	50	4	55	1	120	*	-
(tempo de pausa em "segundos") * Silo que estiver com nível mais baixo.											

Situação 16

Esta situação ocorre quando se tem o silo não disponível e os demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 5 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silo 5 não disponível;
- Alimentador móvel posicionado no silo de “ativação”;
- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Silo 6 com nível menor que 50%;
- Silos 2 e 3 com nível maior que 45% para sequências 16 A, 16 B e 16C;
- Silo 1 com nível maior que 45% para sequências 16 B, 16 D e 16 E;
- Silo 3 com nível maior que 45% para sequência 16 E.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o Alimentador móvel alcançar o silo 4, ou seja, ao lado do silo 5, já não terá minério descarregando. Então o Alimentador móvel translada até o silo 6, aguarda descarregar o minério e translada de volta para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 16.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
16A	Silo 3	3	20	1	30	4	30	6	120	*	-
16B	Silo 2	2	0	1	20	4	30	6	120	*	-
16C	Silo 1	1	0	1	40	4	40	6	120	*	-
16D	Silo 3	3	0	2	11	4	50	6	120	*	-
16E	Silo 4	4	0	2	30	4	10	6	120	*	-
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo.											

Situação 17

Esta situação ocorre quando se tem os silos 1 e 5 indisponíveis e os demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 2 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 1 e 5 indisponíveis;
- Alimentador móvel posicionado no silo de “ativação”;
- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Silo 6 com nível menor que 50%;
- Silo 2 com nível maior que 45%.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o alimentador móvel estiver sobre o silo 4, ou seja, ao lado do silo 5, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada até o silo 6, aguarda descarregar o minério e translada de volta para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 17.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
17A	Silo 4	4	0	2	26	4	20	6	120	*	-
17B	Silo 2	4	0	2	60	4	50	6	120	*	-

(tempo de pausa em "segundos")
* Silo que estiver com nível mais baixo.

Situação 24

Esta situação ocorre quando se tem os silos 4 e 5 indisponíveis e os demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 2 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 4 e 5 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado no silo “ativação”;
- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Silo 5 com nível menor que 50%;
- Silos 1 e 3 com nível maior que 45%.

Movimentos de Translação

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o alimentador móvel estiver sobre o silo 3, ou seja, ao lado do silo 5, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada até o silo 6, aguarda descarregar o minério e translada de volta para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 24.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
24A	Silo 3	3	0	1	25	3	0	6	120	*	-
24B	Silo 1	1	0	1	45	3	52	6	120	*	-
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo.											

Situação 34

Esta situação ocorre quando se tem os silos 2 e 6 parados e os demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 2 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 2 e 6 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;

- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Silo 1 com nível menor que 50%;
- Silo 4 com nível maior que 45%.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o alimentador móvel estiver sobre o silo 3, ou seja, ao lado do silo 2, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada até o silo 1, aguarda descarregar o minério e translada de volta para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 34.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
34A	Silo 3	3	45	5	23	3	5	1	120	*	-
34B	Silo 5	5	0	5	45	3	51	1	120	*	-
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo.											

Situação 40

Esta situação ocorre quando se tem a linha 4 e linha 6 paradas e as demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 2 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 4 e 6 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível médio das linhas contíguas maiores que 50%;
- Silo 5 com nível menor que 50%;

- Silo 1 com nível maior que 50% para sequência 40 A.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o alimentador móvel estiver sobre o silo 3, ou seja, ao lado do silo 4, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada até o silo 5, aguarda descarregar o minério e translada de volta para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 40.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
40A	Silo 3	3	0	1	22	3	30	5	120	*	-
40B	Silo 1	1	43	2	10	3	43	5	120	*	-
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo.											

Grupo C

Situação 4

Esta situação ocorre quando se tem o silo 3 indisponível e os demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 4 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silo 3 não disponível;
- Alimentador móvel posicionado no silo de “ativação”;
- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Nível dos silos 4 e 6 maior que 45% para as sequências 4 A e 4 B;
- Nível do silo 5 maior que 45 % para as sequências 4 C e 4 D;

- Silo 1 com nível menor que 70% e silo 2 com nível menor que 50% para sequência 4 A;
- Silo 1 com nível menor que 60% e silo 2 com nível menor que 70% para sequência 4 B;
- Silo 1 com nível menor que 50% e silo 2 com nível menor que 70% para sequência 4 C;
- Silo 1 com nível menor que 70% e silo 2 com nível menor que 60% para sequência 4 D.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 6 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o alimentador móvel estiver sobre o silo 4, ou seja, ao lado do silo 3, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada até o silo 2, descarrega um pouco de minério, translada para o silo 1, descarrega mais um pouco de minério, translada para o silo 2 deixando o restante do minério. Ao fim deste passo, não haverá minério na correia por um intervalo de 74 segundos. Tempo suficiente para que o Alimentador móvel translade por cima do silo 3 e vá para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28 – Tempos e destinos para o grupo de Sequências 4.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05		Passo 06	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
4A	Silo 4	6	33	4	20	2	30	1	40	2	70	*	-
4B	Silo 4	6	33	4	20	2	30	1	80	2	40	*	-
4C	Silo 6	6	48	4	53	2	30	1	40	2	70	*	-
4D	Silo 6	6	48	4	53	2	30	1	80	2	40	*	-
(tempo de pausa em "segundos")													
* Silo que estiver com nível mais baixo.													

Situação 8

Esta situação ocorre quando se tem o silo 4 indisponível e os demais operando. Para operar nesta situação, foram programadas 4 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silo 4 não disponível;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Nível dos silos 1 e 3 maior que 45% para as sequências 8 A e 8 B;
- Nível do silo 2 maior que 45 % para as sequências 8 C e 8 D.

As variações desta sequência são ativadas conforme mostrado a seguir.

- Para sequência 8A:
 - Silo 6 com nível menor que 70% e silo 5 com nível menor que 50%;
- Para sequência 8B:
 - Silo 6 com nível menor que 60% e silo 5 com nível menor que 70%;
- Para sequência 8C:
 - Silo 6 com nível menor que 50% e silo 5 com nível menor que 70%;
- Para sequência 8D:
 - Silo 6 com nível menor que 70% e silo 5 com nível menor que 60%.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 6 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o Alimentador móvel estiver sobre o silo 3, ou seja, ao lado do silo 4, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada até o silo 5, descarrega um pouco de minério, translada para o silo 6, descarrega mais um pouco de minério, translada para o silo 5 deixando o restante do minério. Ao fim

deste passo, não haverá minério na correia por um intervalo de 74 segundos. Tempo suficiente para que o alimentador móvel translade por cima do silo da linha 4 e vá para o silo que estiver com menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 29.

Tabela 29 – Tempos e destinos para o grupo de Sequências 8.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05		Passo 06	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
8A	Silo 3	1	33	3	20	5	30	6	40	5	70	*	-
8B	Silo 3	1	33	3	20	5	30	6	80	5	40	*	-
8C	Silo 1	1	48	3	53	5	30	6	40	5	70	*	-
8D	Silo 1	1	48	3	53	5	30	6	80	5	40	*	-
(tempo de pausa em "segundos")													
* Silo que estiver com nível mais baixo.													

Grupo D

O Grupo D se caracteriza por 4 silos operando 2 a 2. A movimentação neste grupo consiste de passos de transposição para o lado que estiver com níveis mais baixos. Resume se em ficar transladando sobre 2 silos, cortar alimentação, transpor para o lado onde estão operando os outros 2 silos, transladar sobre os mesmos e repetir o processo.

Situação 9

Esta situação ocorre quando se tem o silo 1 e o silo 4 indisponíveis e os demais operando. Neste grupo de sequências consideram-se silos contíguos, os silos em que o alimentador móvel está sobre eles. Para operar a situação 9, foram programadas 3 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 1 e 4 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado no silo de “ativação”;

- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Nível dos silos opostos menor que 70%;
- Nível de um dos silos opostos menor que 50%.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 4 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o alimentador móvel estiver sobre o silo paralelo ao silo indisponível, ou seja, ao lado do silo 4, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada para o lado onde os outros 2 silos estão operando.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30 – Tempos e destinos para o grupo de Sequências 9.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
9 A	Silo 2	3	30	2	30	3	0	*	-
9 B	Silo 6	5	40	6	40	5	0	*	-
9C	Silo 3	3	20	2	36	3	40	*	

(tempo de pausa em "segundos")
* Silo que estiver com nível mais baixo.

Observações:

A Sequência 9 C é ativada na transição de situação operacional 9 para 11 ou 9 para 13.

A sequência 9 B é ativada também por transição da situação operacional 9 para 25 ou 41.

A Sequência 9 A é ativada também por transição da situação operacional 9 para situação operacional 11 ou 13.

Situação 12

Esta situação ocorre quando se tem os silos 3 e 4 parados e os demais operando. Para este grupo de sequências consideram-se silos contíguos, os silos em que o Alimentador móvel

está sobre eles. Para operar nesta situação, foram programadas 3 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 1 e 4 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado no silo de “ativação”;
- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Nível dos silos das linhas opostas menor que 70%;
- Nível de um dos silos das linhas opostas menor que 50%;

Movimentos de Translação

Esta sequência tem 4 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia transportadora e distribuí-los nos silos, de forma que quando o alimentador móvel estiver sobre o silo da linha paralela ao silo indisponível, ou seja, ao lado do silo da linha 3 ou 4, já não terá minério descarregando. Então o Alimentador móvel translada para o lado onde as outras 2 linhas estão operando.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 31.

Tabela 31 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 12.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
12 A	Silo 1	2	31	1	31	2	0	*	-
12 B	Silo 6	5	40	6	40	5	0	*	-
12C	Silo 2	2	36	1	30	2	30	*	

(tempo de pausa em "segundos")
* Silo que estiver com nível mais baixo.

A Sequência 12 A é ativada também por:

Transição da situação operacional 20 para 04;

Transição da situação operacional 12 para 13 ou 12 para 14.

A sequência 12 B é ativada também por:

Transição da situação operacional 12 para 28 ou 12 para 44.

A Sequência 12 C é ativada por:

Transição de situação operacional 12 para 13 ou 12 para 14.

Transição de situação operacional 20 para 4;

Transição de situação operacional 36 para 37 ou 36 para 38.

Situação 36

Esta situação ocorre quando se tem o silo 3 e o silo 6 parados e os demais operando. Para este grupo de sequências consideram-se silos contíguos, os silos em que o Alimentador móvel está sobre eles. Para operar nesta situação, foram programadas 3 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 3 e 6 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível médio dos silos contíguos maiores que 50%;
- Nível dos silos opostos menor que 70%;
- Nível de um dos silos opostas menor que 50%;

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 4 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o Alimentador móvel estiver sobre o silo da linha paralela ao silo indisponível, ou seja, ao lado do silo 3, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada para o lado onde os outros 2 silos estão operando.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 32.

Tabela 32 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 23.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
36 A	Silo 1	2	30	1	30	2	0	*	-
36 B	Silo 5	4	27	5	27	4	0	*	-
12C (**)	Silo 4	4	36	5	30	4	30	*	

(tempo de pausa em "segundos")
 * Silo que estiver com nível mais baixo.

Observações:

A Sequência 36 A também é ativada na transição de situação operacional 36 para 37 ou 36 para 38.

A Sequência 36 B é também ativada na transição da situação operacional 36 para 44 ou 36 para 52.

A sequência 36 C é ativada por transição da situação operacional 36 para 44, 36 para 52 ou 10 para 8.

Grupo E

O Grupo E se caracteriza por 2 silos operando contíguos e 2 silos operando intercalados com 1 silo parado. Este grupo retrata 2 situações operacionais. A situação 10 com os silos 2 e 4 parados e a situação 20 com os silos 3 e 5 parados.

Situação 10

Condições de Ativação:

- Silos 2 e 4 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível dos silos contíguos maiores que 45%;
- Nível de um dos silos isolados menor que 70%;
- Nível do segundo silo isolado menor que 50%.

Movimentos de Translação:

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o Alimentador móvel estiver sobre o silo paralelo ao silo indisponível, ou seja, ao lado do silo 4, já não terá minério descarregando. Então o alimentador móvel translada para o silo 3, aguada a interrupção do fluxo de minério, translada para o silo 1, abastece o mesmo, aguarda nova interrupção do fluxo de minério, retorna para o silo de menor nível nos silos contíguos.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 33.

Tabela 33 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 10.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05		Passo 06	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
10 A	Silo 6	5	38	6	38	5	0	3	120	1	80 (**)	*	-
10 B	Silo 6	5	38	6	38	5	0	1	120	3	80(**)	*	-
(tempo de pausa em "segundos") * Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos.													

Situação 20

Silos 1, 2, 4 e 6 operando. Demais parados.

Condições de Ativação:

- Silos 5 e 6 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado sobre o silo de “ativação”;
- Nível dos silos contíguos maiores que 45%;
- Nível de um dos silos isolados (5 ou 6) menor que 70%;
- Nível do segundo silo dos silos isolados (5 ou 6) menor que 50%.

Movimentos de Translação

Esta sequência tem 5 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o alimentador móvel estiver sobre o silo paralelo ao silo indisponível, ou seja, ao lado do silo 3, já não terá minério descarregando. Então o Alimentador móvel translada para o silo 4, aguada a interrupção do fluxo de minério, translada para o silo 5, abastece o mesmo, aguarda nova interrupção do fluxo de minério, retorna para o silo de menor nível nos silos contíguos.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 34.

Tabela 34 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 20.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05		Passo 06	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
20 A	Silo 1	2	30	1	30	2	0	4	120	6	80 (**)	*	-
20 B	Silo 1	2	30	1	30	2	0	6	120	4	80(**)	*	-
(tempo de pausa em "segundos") * Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos.													

Grupo F

O Grupo F se caracteriza por 2 silos operando contíguos e 1 silo operando isolado com os demais parados. Este grupo reúne treze situações operacionais, sendo doze na configuração 2 silos contíguos mais 1 isolado, e a situação operacional 18.

A situação 18 se caracteriza por quatro silos operando. Os silos 3 e 4 operando juntamente com os silos 1 e 6, com os silos 2 e 5 parados. Do ponto de vista de lógica operacional esta situação é uma sobreposição da situação operacional 19 com a situação operacional 50. A Tabela 35 mostra graficamente essa sobreposição.

Tabela 35 - Sobreposição de Situação operacional.

Linhas →	1	2	3	4	5	6
Sit. Operacional 19						
+						
Sit. Operacional 50						
=						
Sit. Operacional 18						

Observações:

As sequências deste grupo podem ser ativadas quando o Alimentador móvel estiver sobre o silo parado retornando do silo que está isolado. Isto é programado para que se ganhe tempo, caso o Alimentador móvel esteja retornando do silo isolado e as condições de ativação já estão satisfeitas. Evita-se que o Alimentador móvel tenha que ser deslocar até o silo que está operando mais distante do silo isolado, para então iniciar a sequência.

Exemplo:

Na situação 11 inicia-se a sequência no silo 6, translada-se para os silos 5, 6 e 5 novamente. Translada-se para o silo 3 e retorna. Ao passar pelo silo 4, que está parado, se as demais condições para ativação estiverem satisfeitas, inicia-se a sequência novamente, fazendo a translação 5, 6, 5 e 3 novamente.

Movimentos de Translação

Neste grupo de sequências tem se 4 passos de movimentos de translação, seguidos de pausas. Estes movimentos e pausas são necessários para descarregar o minério que está na correia e distribuí-los nos silos, de forma que quando o Alimentador móvel estiver sobre o silo paralelo ao silo indisponível, já não terá minério descarregando. Então o Alimentador móvel translada para o silo que está operando isolado, abastece o mesmo aguarda nova interrupção do fluxo de minério, retorna para o silo de menor nível nos silos contíguos.

Situação 11

Esta situação ocorre quando têm se os silos 3, 5 e 6 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foram programadas 2 sequências que serão acionadas sob

determinadas condições. A primeira sequência atende a situação operacional permanente. A segunda atende a situação de transição da situação 12 para 28, situação 12 para 44, situação 9 para 25 ou situação 9 para 41.

Condições de Ativação:

- Silos 1, 2 e 4 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo 5 maior que 45%;
- Nível do silo 6 maior que 45%;
- Nível do silo 3 menor que 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silo 5, 6, 5 e 3 ou 2. Depois silo de nível mais baixo.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 36.

Tabela 36 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 11.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
11 A	Silo 4/6	5	40	6	43	5	0	3	120	*	-
11 B	Silo	5	20	6	43	5	0	2	120	*	-
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo.											

Situação 13

Esta situação ocorre quando tem se o silo 2, 5 e 6 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foi programada 1 sequência que será acionada sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 1, 3 e 4 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;

- Nível do silo 5 maior que 45%;
- Nível do silo 6 maior que 45%;
- Nível do silo 2 menor que 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silos 5, 6, 5 e 2. Depois silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 37.

Tabela 37 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 13.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
13	Silo 4/6	5	40	6	40	5	0	2	100(**)	*	

(tempo de pausa em "segundos")
 * Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos

Situação 14

Esta situação ocorre quando tem se os silos 1, 5 e 6 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foi programada 1 sequência que será acionada sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 2, 3 e 4 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo 5 maior que 45%;
- Nível do silo 6 maior que 45%;
- Nível do silo 1 menor que 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silos 5, 6, 5 e 2. Depois silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 38.

Tabela 38 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 14.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
14	Silo 4/6	5	43	6	43	5	0	2	100(**)	*	
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos											

Situação 18

Esta situação ocorre quando tem se os silos 1, 2, 3 e 6 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foram programadas 2 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Por se tratar de uma “sobreposição” de duas situações (19 e 50), foi implementada uma programação de forma que se faça a sequência de modo semelhante à sequência 19 e logo após se faça a sequência 50. Quando o Alimentador móvel estiver alternando constantemente as duas sequências, 19, 50, 19, 50..., as mesmas iniciam-se no segundo passo.

Condições de Ativação:

- Silos 2 e 5 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo 6 menor que 50% (Sequência 18 A);
- Nível do silo 1 menor que 50% (Sequência 18 B).

Movimentos de Translação

Translação para silos 4, 3, 4 e 6. Depois silo de menor nível (18 A).

Translação para silos 3, 4, 3 e 1. Depois silo de menor nível (18 B).

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 39.

Tabela 39 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 18.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
18 A	Silo 3/5	4	32	3	32/40	4	0/30	6	100(**)	*	
18 B	Silo 2/4	3	32	4	40	3	0/30	1	100(**)	*	

(tempo de pausa em "segundos")
 * Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos

Situação 19

Esta situação ocorre quando tem se os silos 3, 4, e 6 operando e as demais parados. Para operar nesta situação, foi programada 1 sequência que será acionada sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 1, 2 e 5 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo 3 maior que 45%;
- Nível do silo 4 maior que 45%;
- Nível do silo 6 menor que 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silos 4, 3, 4 e 6. Depois vai para silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 40.

Tabela 40 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 19.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
19	Silo 3/5	4	32	3	33	4	0	6	100(**)	*	
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos											

Situação 25

Esta situação ocorre quando tem se os silos 2, 3, e 6 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foi programada uma sequência que será acionada sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 1, 4 e 5 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo 2 maior que 45%;
- Nível do silo 3 maior que 45%;
- Nível do silo 6 abaixo de 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silos 3, 2, 3 e para o silo 6. Depois vai para silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 41.

Tabela 41 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 25.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
25	Silo 2/4	3	29	2	30	3	0	6	100(**)	*	
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos											

Situação 28

Esta situação ocorre quando tem se os silos 1, 2, e 6 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foi programada uma sequência que será acionada sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 3, e 5 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo 1 maior que 45%;
- Nível do silo 2 maior que 45%;
- Nível do silo 6 menor que 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silos 2, 1, 2 e 6. Depois vai para silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 42.

Tabela 42 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 28.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
28	Silo 1/3	2	29	1	30	2	0	6	100(**)	*	

(tempo de pausa em "segundos")
* Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos

Situação 37

Esta situação ocorre quando tem se os silos 2, 4, e 5 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foram programadas 2 sequências que serão acionadas sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 1, 3 e 6 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo 4 maior que 45%;
- Nível do silo 5 maior que 45%;
- Nível do silo 2 menor que 50%.

Movimentos de Translação:

Translação para silos 4, 5, 4 e 2. Depois vai para silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 43.

Tabela 43 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 37.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
37 A	Silo 3/5	4	0	5	29	4	0	2	100(**)	*	
37 B	Silo 4	4	30	5	45	4	21	2	100(**)		

(tempo de pausa em "segundos")
 * Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos

Situação 38

Esta situação ocorre quando tem se os silos 1, 4, e 5 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foi programada uma sequência que será acionada sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos 2, 3 e 6 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo 4 maior que 45%;
- Nível do silo 5 maior que 45%;
- Nível do silo 1 menor que 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silos 4, 5, 4 e 1. Depois vai para silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 44.

Tabela 44 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 38.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
38	Silo 3/5	4	30	5	29	4	0	1	100(**)	*	

(tempo de pausa em "segundos")
* Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos

Situação 41

Esta situação ocorre quando tem se os silos 2, 3, e 5 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foi programada uma sequência que será acionada nas condições a seguir:

Condições de Ativação:

- Silos da linha 1, linha 4 e linha 6 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo2 maior que 45%;
- Nível do silo3 maior que 45%;
- Nível do silo5 menor que 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silos 3, 2, 3 e 5. Depois vai para silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 45.

Tabela 45 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 41.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
41	Silo 2/4	3	30	2	29	3	0	5	100(**)	*	
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos											

Situação 44

Esta situação ocorre quando tem se os silos 1, 2, e 5 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foi programada uma sequência que será acionada sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos da linha 3, 4 e 6 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo1 maior que 45%;
- Nível do silo2 maior que 45%;
- Nível do silo5 menor que 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silos 2, 1, 2 e 5. Depois vai para silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 46.

Tabela 46 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 44.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
44	Silo 1/3	2	30	1	29	2	0	5	100(**)	*	
(tempo de pausa em "segundos")											
* Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos											

Situação 52

Esta situação ocorre quando tem se os silos 1, 2, e 4 operando e os demais parados. Para operar nesta situação, foi programada uma sequência que será acionada sob determinadas condições.

Condições de Ativação:

- Silos da linha 3, linha 5 e linha 6 não disponíveis;
- Alimentador móvel posicionado na linha de “ativação”;
- Nível do silo1 maior que 45%;
- Nível do silo2 maior que 45%;
- Nível do silo4 menor que 50%.

Movimentos de Translação

Translação para silos 2, 1, 2 e 4. Depois vai para silo de menor nível.

As sequências de movimento e as pausas são apresentadas na Tabela 47.

Tabela 47 - Tempos e destinos para o grupo de Sequências 52.

Sequência	Ponto de Ativação	Passo 01		Passo 02		Passo 03		Passo 04		Passo 05	
		Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa	Silo de Destino	Pausa
52	Silo 1/3	2	30	1	29	2	0	4	100(**)	*	

(tempo de pausa em "segundos")
* Silo que estiver com nível mais baixo. ** Pode ser 120 segundos

Grupo G

O Grupo G se caracteriza por 2 ou 3 silos operando isoladamente, ou seja, com silos indisponíveis entre eles.

A sequência de movimentação neste grupo consiste em transladar o Alimentador móvel até o silo com menor nível, ligar os alimentadores da pilha de ROM (AL-01 a AL-04) por um determinado tempo, aguardar a descarga deste minério no silo, transladar até o silo com nível mais baixo repetindo o processo.

Pertencem a este grupo as situações operacionais 21, 22, 23, 26, 27, 29, 30, 42, 43, 45, 46, 53, 54 e 58.

Entrando em uma das situações citadas, é enviado um comando para interromper o funcionamento dos alimentadores da pilha pulmão. Após a interrupção de descarga de minério na descarga do TC-04, o Alimentador móvel translada para o silo de menor nível. Neste momento é liberado o funcionamento dos alimentadores da pilha pulmão por 100 segundos. Ao chegar ao silo identificado pela lógica através dos sensores de posição, o minério é descarregado e após a interrupção da descarga do minério, repete-se o processo.

Durante o processo de execução de outros grupos de sequência, tais como grupo B, C, E e F, podem ocorrer momentaneamente situações operacionais do grupo G. Para não ocorrer a ativação de sequências do grupo G indevidamente, os grupos B, C, E e F enviam um comando de inibição para o grupo G, enquanto uma das mesmas estiver operando.

Grupo H

O Grupo H se caracteriza por somente uma linha operando.

A sequência de operação neste grupo é a seguinte:

Passo 01: Interrompe-se o funcionamento dos alimentadores da pilha pulmão por 170 segundos;

Passo 02: O Alimentador móvel translada para a linha que está operando;

Passo 03: Caso o nível do silo que está operando esteja menor que 50%, é liberado o funcionamento dos alimentadores da pilha pulmão por 100 segundos;

Passo 04: Interrompe-se o funcionamento dos alimentadores por 170 segundos;

Passo 05: Faz-se nova avaliação do nível e caso o mesmo esteja abaixo de 50% repete-se o processo a partir do passo 3.

Condições de Ativação:

- Somente 1 silo disponível;
- Alimentador móvel posicionado no silo que está operando;
- Nível do silo que está operando menor que 50%.

2.9 Movimentação do alimentador móvel (silos contíguos operando).

O Alimentador móvel movimenta-se basicamente procurando posicionar sobre o silo que estiver com nível mais baixo. No decorrer do processo estando todas as linhas operando sem anormalidades, o Alimentador móvel acaba fazendo uma movimentação de vai-e-vem do silo 1 até o silo 6, retornando ao silo 1 e repetindo o processo indefinidamente até que surja uma anormalidade, para a qual será acionada uma lógica específica.

Pode haver interferências neste movimento “vai-e-vem” do Alimentador móvel. Algumas interferências são:

- Silos com nível acima da média;
- Silos com nível baixo ou muito baixo;
- Nível médio de todos os silos maior que 70%;
- Parada repentina de todos os silos.

2.9.1 Processo de movimentação e posicionamento do alimentador móvel:

Ao passar o controle do Alimentador móvel para o modo "Automático", é atribuído a variável denominada "SI_NEXT" o próximo destino de posicionamento do Alimentador móvel. Este destino é originado da identificação de silo de menor nível pela variável "SI_MNR01.

O Alimentador móvel então se movimenta para o destino especificado e uma vez chegado ao silo de destino, permanece parado por um tempo que varia de 30 a 120 segundos. Decorrido o tempo, é atribuído um novo destino para o Alimentador móvel, ou seja, o Alimentador móvel será direcionado para o silo com nível mais baixo.

Um novo destino para o Alimentador móvel pode ser atribuído antes de finalizar o tempo calculado para descarga do minério, devido a condições excepcionais. Estas condições são:

- Silo do extremo oposto baixo (Silo 6 com o Alimentador móvel posicionado no silo 1, ou silo 1 com Alimentador móvel posicionado no silo 6);
- Silo com nível muito baixo (menor que 25%);
- Indisponibilidade do silo em que o Alimentador móvel está posicionado;
- Nível médio dos silos acima de 70%;
- Parada de todos os silos.

2.9.2 Controle de velocidade de movimentação do alimentador móvel.

A velocidade nominal do motor de translação do alimentador móvel é 1740 rpm. O alimentador móvel se movimenta normalmente com velocidade de 100% da velocidade nominal no motor. Esta velocidade é alterada quando o alimentador móvel se aproxima do final do curso. Estando o alimentador móvel funcionando no sentido "RÉ", e a posição do mesmo for menor que 1,0m, a velocidade do motor é alterada para 50% da velocidade nominal. Quando em movimento no sentido "FRENTE", e a posição do Alimentador móvel for maior que 33 metros, a velocidade no motor ajustada para 50% da velocidade nominal.

A lógica de movimentação do alimentador móvel também ajusta a velocidade para 50% nas seguintes condições:

- Alimentador móvel está movimentando e;
- O silo sob o mesmo está com nível abaixo de 55% ou o silo sob o mesmo está com nível médio na última hora abaixo de 60% e;
- O silo de destino não estiver com nível baixo.

O nível baixo do silo de destino é determinado em uma composição da distância com o próprio nível. Isto propicia uma otimização nesta consideração, ou seja, se o silo está perto o ponto de nível baixo é um pouco menor. Caso o silo de destino esteja mais longe, o ponto de nível baixo é maior.

Quando o alimentador móvel está trabalhando uma das sequências operacionais para transposição de silos indisponíveis e/ou silos parados a velocidade de translação é fixada em 80% da velocidade nominal.

2.10 Identificação de Silo com Menor Nível

A identificação de silo com o nível mais baixo é avaliada somente entre os silos disponíveis. Esta forma de avaliação permite que o alimentador móvel só movimente sobre estes silos, caso contrário, poderia haver translação sobre silo parado, correndo risco de entupimento do “*shut*” de descarga do alimentador móvel.

Exemplo:

Na situação operacional “2” do Grupo “B”, tem-se os silos 1, 3, 4, 5 e 6 operando e o silo 2 parado. Para avaliação de silo com menor nível serão considerados os níveis dos silos 3, 4, 5 e 6, descartando aquele em que o alimentador móvel estiver posicionado. O alimentador móvel ficará transladando sobre estas linhas, sempre parando na que estiver com menor nível, até que a sequência “2B” seja ativada, conforme as condições previstas.

Caso pare a operação de todos os silos, a identificação do silo de menor nível é avaliada por simples comparação dos seis medidores de nível dos mesmos.

2.11 Caracterização de Silo Disponível, Silo Cheio ou Parado.

A caracterização dos silos disponíveis é avaliada pelos silos que estão operando. Esta situação de silo operando por sua vez é avaliada segundo as seguintes premissas:

- Nível do Silo menor que 75%;
- Peneira Secundária “não parada” há mais de 10 minutos;
- Nível do Silo maior que 50% com Alimentador Vibratório parado;
- Alimentador Vibratório em Modo de Operação “MANUAL”;
- Nível médio da última hora menor que 55%.

Também influenciam na caracterização de silos disponíveis, as seguintes situações:

- Alimentador móvel posicionado sobre um determinado silo coloca o mesmo em indisponibilidade, ou seja, o próximo destino do alimentador móvel não pode ser onde ele já está;
- Alimentador móvel sobre o silo 2, com os 6 silos operando, último movimento sendo de avanço e silos 4, 5 e 6 disponíveis, coloca o silo da linha 01 indisponível. (Objetivo: Evitar que o Alimentador móvel passe sobre o silo 2 por 3 vezes provocando nível alto no mesmo, e por consequência, risco de entupimento do “*shut*” de descarga do alimentador móvel;
- Alimentador móvel sobre o silo 5, com os 6 silos operando, último movimento sendo de recuo e silos 1, 2 e 3 disponíveis, coloca o silo 6 indisponível. (Objetivo: Evitar que o alimentador móvel passe sobre o silo 5 por 3 vezes provocando nível alto no mesmo, e por consequência, risco de entupimento do “*shut*” de descarga do alimentador móvel;
- Alimentador móvel parado sobre o silo 2, silo 3 maior que 25%, silo 1 sendo o segundo menor nível, quatro silos contíguos operando, coloca em indisponibilidade o silo 3. (Objetivo: Evitar que o Alimentador móvel se desloque para o silo 3, ficando mais distante do silo 1, provocando parada operacional por falta de material no silo 1);
- Alimentador móvel parado sobre o silo 5, silo 4 maior que 25%, silo 6 sendo o segundo menor nível, quatro silos contíguos operando, coloca em indisponibilidade o silo 4. (Objetivo: Evitar que o Alimentador móvel se

desloque para o silo 4, ficando mais distante do silo 6, provocando parada operacional por falta de material no silo 6).

Os silos podem se tornar indisponíveis, ou seja, caracterizando linha “não operando” em outras situações citadas a seguir:

Silo 1 torna-se indisponível se:

- Situação Operacional igual a 2, 4, 6, 10, 14, 18, 34, 38 ou 50;
- Situação Operacional 36 com Alimentador móvel na região dos silos 4 ou 5;
- Situação Operacional 12 com Alimentador móvel na região dos silos 5 ou 6.

Silo 2 torna-se indisponível se:

- Situação Operacional igual a 4, 5, 13 ou 37;
- Situação Operacional 9 ou 12 com alimentador móvel na região dos silos 5 ou 6.

Silo 3 torna-se indisponível se:

- Situação Operacional igual a 10 ou 11;
- Situação Operacional 9 com Alimentador móvel na região das linhas 5 ou 6.

Silo 4 torna-se indisponível se:

- Situação Operacional igual a 20 ou 52;
- Situação Operacional 9 com Alimentador móvel na região das linhas 2 ou 3;

Silo 5 torna-se indisponível se:

- Situação Operacional igual a 8, 40, 41 ou 44;
- Situação Operacional 9 ou 12 com Alimentador móvel na região das linhas 1 ou 2.

Silo 6 torna-se indisponível se:

- Situação Operacional igual a 8, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, ou 28.
- Situação Operacional 9 com Alimentador móvel na região das linhas 2 ou 3;
- Situação Operacional 12 com Alimentador móvel na região das linhas 1 ou 2.

2.12 Controles Auxiliares

2.12.1 Tempo de Parada para descarga de minério

O alimentador móvel se desloca procurando se posicionar de uma maneira geral sobre o silo que estiver com nível mais baixo. Ao chegar ao silo de destino, o alimentador móvel fica parado por um tempo. Este tempo é calculado em função do nível do silo de destino do alimentador móvel. Se o silo de destino for o último silo no sentido de translação do alimentador móvel ou o silo de destino estiver com nível muito baixo, o tempo é calculado por um escalonamento seguindo a seguinte fórmula:

$$t = \left((li - 20) \frac{(120000 - 15000)}{(55 - 20)} + 15000 \right) * 1000$$

Onde: t = tempo (segundos) e

Li = nível do silo de destino (adimensional).

As constantes na expressão são os valores mínimos e máximos para o cálculo. Nível na faixa de 20 a 55% e tempo na faixa de 15 a 120 segundos.

Caso o silo de destino não seja o último, o tempo de parada é fixado em 30 segundos.

O nível deste silo por sua vez é avaliado por variável com filtro de uma hora. Este filtro evita avaliações erradas por ruído na medição ou por silo afunilado.

O tempo é assinalado quando ocorre parada de translação do alimentador móvel.

2.12.2 Controle de Taxa de Alimentação

O Controle da taxa de Alimentação da Usina consiste de duas malhas de controle PID em cascata. A primeira malha faz um controle do nível médio com *set-point* fixo em 55%. A saída desta malha vai gerar um *set-point* para a segunda malha de controle. Esta saída que varia de 0 a 100% é escalonada para gerar um *set-point* de 0 a 3050 t/h. A saída da segunda malha vai atuar na velocidade dos alimentadores da pilha pulmão, gerando uma referência para os inversores que acionam os mesmos. A Figura 5 apresenta um fluxograma resumido do controle de taxa.

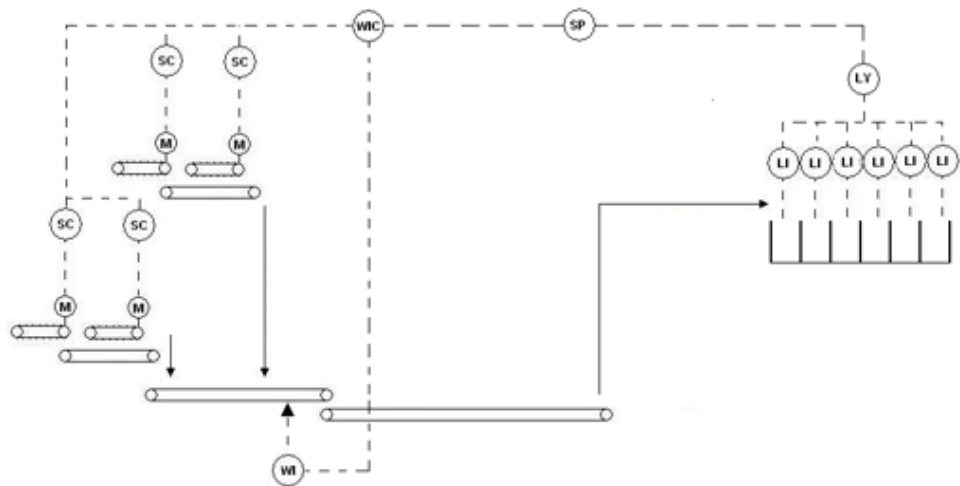


Figura 5 - Fluxograma P&I do controle de taxa de alimentação.

2.13 Controlador Lógico Programável

Toda a lógica de controle do alimentador móvel foi implementada em controlador lógico programável (CLP). Os Controladores Lógicos Programáveis são dispositivos digitais que permitem controlar o processo industrial graças a uma memória programável (GOEKING, 2010). Consiste de um processador central (CPU), fonte de alimentação, módulos de entradas e saídas, módulos de comunicação. A CPU, fontes e módulos são montados em um *rack*, que serve de suporte para os mesmos, bem como para interconectá-los via barramento de energia e dados.

Os módulos de entradas e saídas podem ser discretos ou analógicos. Módulos de entrada e saída discretos recebem (entrada) ou enviam (saídas) sinais discretos do tipo *on/off* (ligado/desligado). Irão processar os sinais dos diversos sensores, tais como botões de comando, chaves de nível, sondas de proteção, bem como atuar válvulas *on-off*, lâmpadas, relés e contadores. Os módulos de entrada e saída analógicos processam os sinais contínuos do processo como, por exemplo, sensores de nível, velocidade e atuam em válvulas variáveis, *set-point* de inversores, etc..

Os módulos de comunicação dos CLP's processam a interface com as diversas camadas do ambiente industrial. Para atender a essa demanda os CLP's podem ser equipados com módulos de comunicação que abrangem os mais variados tipos de redes e protocolos

(FREITAS, 2014), sejam dispositivos, sensores, atuadores. Também fazem interface com as camadas superiores dos sistemas de automação, tais como sistemas supervisórios, sistemas gerenciamento de informações (PIMS) e sistemas de gerenciamento de produção (MES).

2.13.1 Linguagens de Programação

Os controladores lógicos programáveis, assim como os computadores, utilizam uma linguagem de programação. O Controlador Lógico Programável utilizado neste trabalho pode ser programado em várias linguagens de programação conforme norma IEC 61131-3 (SCHNEIDER, 2010). "Diagrama de Blocos de Função FBD (*Function Block Diagram*), Ladder LD (*Ladder Diagram*), Gráfico de função sequencial SFC (*Sequential Function Chart*), Listas de instrução IL (*Instruction List*) e Texto estruturado ST (*Structured Text*). Estas linguagens podem ser utilizadas ao mesmo tempo, dando flexibilidade ao programador.

As linguagens "*Instruction List*" e "*Structured Text*" são linguagens textuais. Já "*Ladder Diagram*", "*Sequential Function Chart*" e "*Function Block Diagram*" são linguagens gráficas. As linguagens gráficas têm uma maior facilidade de depuração, uma vez que são visuais.

Foi adotado a linguagem FBD para implementar a lógica de operação automática do alimentador móvel. Esta linguagem possui bibliotecas de funções pré-programadas que facilitam a implementação de lógicas de controle.

- IEC padrão: A biblioteca mais utilizada. Contém os blocos de função elementares padronizados conforme IEC 61131-3;
- ANA_IO: Processa valores analógicos;
- COMM: É utilizada para processamento de comunicação do CLP;
- CONT_CTL: Processa sinais de controle integral, diferencial etc.;
- EXTENDED: Contem blocos suplementares para outras bibliotecas, os quais podem ser utilizados para cálculo de médias, negação lógica, conversões, interpolações, filtros, etc.;
- FUZZY: Contem blocos para programação de lógica nebulosa.

2.13.2 Software de Programação

Para a programação do CLP da Schneider, foi utilizada uma ferramenta de programação específica para estes CLP's denominada CONCEPT. Com o *software* CONCEPT é possível programar outras linhas de Controladores Lógicos Programáveis da Schneider Electric, tais como as linhas "Momentum", "Compact" e "Atrium".

2.14 Sensores

O alimentador móvel é dotado de alguns sensores e atuadores para possibilitar o desenvolvimento da lógica de controle.

Transmissor de posição a laser. Este transmissor informa a posição do alimentador através de um feixe a laser que retorna um valor de 4 a 20 mA correspondente a escala de 0 a 35m.

Balança integradora. Utilizada para medir a taxa horária de alimentação dos silos.

Sensores indutivos. Utilizados para identificação de fim de curso da translação.

Botões de comando do tipo pulsado. São utilizados para acionamento da translação em modo manual, para testes.

Sondas de proteção com sensor indutivo. Utilizadas para proteção contra entupimentos do "*shut*" de descarga.

Transmissores de nível tipo ultrassônico. Os medidores de nível ultrassônico são utilizados para medir os níveis dos silos.

2.15 Atuadores

Inversor de frequência para atuação nos motores de translação.

Inversor de frequência para atuação nos motores dos alimentadores sob a pilha "pulmão".

Os inversores de frequência são dispositivos eletrônicos para variação de velocidade de motores de indução (MASCHERONI, 2005). Os inversores alimentam os motores de

indução com frequência e tensão variável. Em uma análise simplificada pode se que a velocidade de um motor de indução é dada pela expressão:

$$n = \frac{120 * f * (1 - s)}{p}$$

onde:

n = velocidade em rotações por minuto (rpm);

f = frequência da rede em Hertz (Hz);

s = escorregamento;

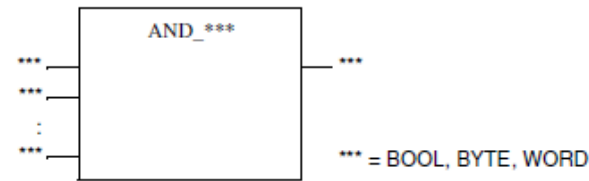
p = número de pólos.

2.16 Blocos de Funções Utilizados

Os blocos de função facilitam a programação e implementação de lógicas, uma vez que trazem a forma gráfica de visualização, evitando a necessidade de programação em baixo nível, que é mais suscetível a erros de digitação e conseqüentemente traz maior dificuldade de depuração de erros. A seguir uma breve descrição dos principais blocos utilizados na implementação da lógica de controle do alimentador móvel.

2.16.1 Bloco de Função "AND"

Este bloco processa a lógica "booleana" "E". Possui de 2 a 32 entradas e uma saída. A função conecta as entradas (de acordo com a lógica "AND") a saída (SCHNEIDER, 2007). Pode ser programado com diversos tipos de variáveis, porém exige que os tipos sejam idênticos.



$$\text{OUT} = \text{IN1} \& \text{IN2} \& \text{INn}$$

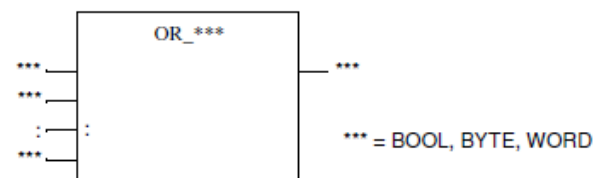
Description of the block parameters

Parameter	Data type	Meaning
IN1	BOOL, BYTE, WORD	Input bit sequence
IN2	BOOL, BYTE, WORD	Input bit sequence
INn	BOOL, BYTE, WORD	Input bit sequence
OUT	BOOL, BYTE, WORD	Output bit sequence

Figura 6 - Bloco AND (Fonte: Schneider Eletric).

2.16.2 Bloco de Função "OR"

O Bloco de Função "OR" processa de 2 a 32 entradas e gera uma saída. A função conecta as entradas (de acordo com a lógica "OR") a saída (SCHNEIDER, 2007). Pode ser programado com diversos tipos de variáveis, porém exige que os tipos sejam idênticos. A Figura 7 mostra a representação gráfica do bloco OR, com seus parâmetros de entradas e saídas.



$$\text{OUT} = \text{IN1} \text{ OR } \text{IN2} \text{ OR } \dots \text{ OR } \text{INn}$$

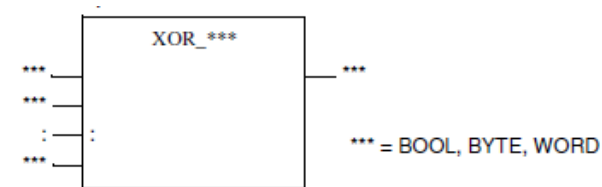
Description of the block parameters:

Parameter	Data type	Meaning
IN1	BOOL, BYTE, WORD	Input bit sequence
IN2	BOOL, BYTE, WORD	Input bit sequence
INn	BOOL, BYTE, WORD	Input bit sequence
OUT	BOOL, BYTE, WORD	Output bit sequence

Figura 7 - Bloco OR (Fonte: Schneider Eletric).

2.16.3 Bloco de Função "XOR"

O Bloco de Função "XOR" (Ou exclusivo) processa de 2 a 32 entradas e gera uma saída. A função conecta as entradas (de acordo com a lógica "XOR") a saída. A Figura 8 apresenta o bloco de função "XOR" e relaciona os tipos de variáveis possíveis.



$$\text{OUT} = \text{IN1 XOR IN2 XOR .. XOR INn}$$

Description of the block parameters:

Parameter	Data type	Meaning
IN1	BOOL, BYTE, WORD	Input bit sequence
IN2	BOOL, BYTE, WORD	Input bit sequence
INn	BOOL, BYTE, WORD	Input bit sequence
OUT	BOOL, BYTE, WORD	Output bit sequence

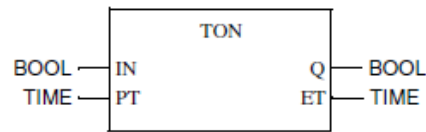
Figura 8 - Bloco XOR (Fonte: Schneider Eletric).

Esta função como outras, processam variados tipos de dados, porém os tipos de entradas e saídas devem ser idênticos.

2.16.4 Bloco de Temporizador "TON"

O Bloco temporizador "TON" é uma função de atraso de tempo para ligar (Schneider, 2007). Possui duas entradas e duas saídas. A Figura 9 apresenta o bloco de função "TON" e relaciona os tipos de variáveis possíveis.

Block representation:



Description of the block parameters:

Parameter	Data type	Meaning
IN	BOOL	0 -> 1: Start timer 1 -> 0: Reset
PT	TIME	Preset delay time
Q	BOOL	Output
ET	TIME	Elapsed time

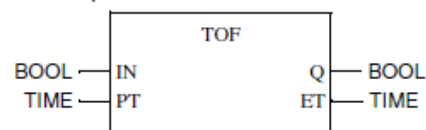
Figura 9 - Bloco *TON* (Fonte Schneider Eletric).

Quando a entrada "IN" é levada para o estado 1, inicia-se a contagem do tempo assinalado na entrada "PT" (*Preset delay time*). Decorrido este tempo a saída "Q" é ativada. A Saída "ET" (*Elapsed Time*) Informa o tempo decorrido. Caso a entrada "IN" retorne a 0 (zero), o bloco é reiniciado.

2.16.5 Bloco de Temporizador "TOF"

O Bloco temporizador "TOF" é uma função de atraso de tempo para desligar (Schneider, 2007). Possui duas entradas e duas saídas. A Figura 10 apresenta o bloco de função "TOF" e relaciona os tipos de variáveis possíveis.

Block representation:



Description of the block parameters:

Parameter	Data type	Meaning
IN	BOOL	0 -> 1: Reset 1 -> 0: Start timer
PT	TIME	Preset delay time
Q	BOOL	Output
ET	TIME	Elapsed time

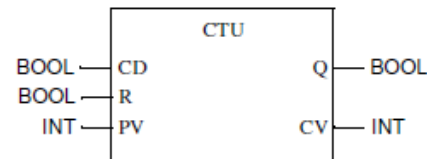
Figura 10 - Bloco *TOF* (Fonte Schneider Eletric).

Quando a entrada "IN" é levada para o estado 1, a saída "Q" é ativada. Quando a entrada "IN" é retornada ao estado 0, inicia-se a contagem do tempo assinalado na entrada "PT" (*Preset delay time*). Decorrido este tempo, a saída "Q" é retornada para o valor 0. A

Saída "ET" (*Elapsed Time*) Informa o tempo decorrido. Caso a entrada "IN" retorne a 1 (zero), antes do tempo previsto na entrada "ET", a saída permanecerá no estado 1.

2.16.6 Bloco Contador Crescente "CTU"

O Bloco CTU processa a contagem crescente de valores inteiros. A Figura 11 mostra a representação gráfica da função, bem como os tipos de variáveis permitidos.



Description of the block parameters:

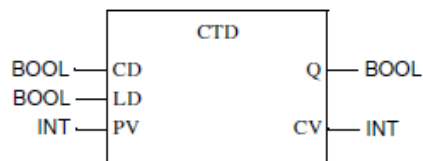
Parameter	Data type	Meaning
CU	BOOL	Trigger input
R	BOOL	Reset
PV	INT	Default value
Q	BOOL	Output
CV	INT	Count value (actual value)

Figura 11 - Bloco CTU (Fonte Schneider Eletric).

O valor da saída CV (*Count value*) é incrementado cada vez que se atribuir o valor 1 na entrada "CU" (*Counter Up*). A entrada PV (*Preset value*) informa qual o valor a ser atingido em CV, para que a saída Q seja levada ao valor 1. A entrada R reinicializa a função.

2.16.7 Bloco Contador Decrescente "CTD"

O Bloco CTD processa a contagem decrescente de valores inteiros. A Figura 12 mostra a representação gráfica da função, bem como os tipos de variáveis permitidos.



Description of the block parameters:

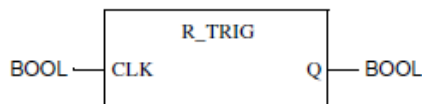
Parameter	Data type	Meaning
CD	BOOL	Trigger input
LD	BOOL	Load data
PV	INT	Default value
Q	BOOL	Output
CV	INT	Count value (actual value)

Figura 12 - Bloco CTD (Fonte Schneider Eletric).

A entrada LD quando atribuída o valor 1, carrega o valor definido na entrada PV na saída CV (*Count value*). A saída CV é decrementada cada vez que se atribuir o valor 1 na entrada "CD" (*Counter Down*). A saída Q seja levada ao valor 1 quando a saída CV atinge o valor 0.

2.16.8 Bloco de Detecção de Borda "R_TRIG"

O Bloco de função "R_TRIG" (*Rising edge detection*) é utilizado para a detecção de bordas ascendentes, ou seja do estado 0 para o estado 1 (Schneider, 2007). A Figura 13 mostra a representação gráfica do bloco e os tipos de variáveis (*data type*) possíveis.



Description of the block parameters:

Parameter	Data type	Meaning
CLK	BOOL	Timing input
Q	BOOL	Output

Figura 13 - Bloco R_TRIG (Fonte: Schneider Eletric).

Quando a entrada "CLK" passa do estado 0 para o estado 1, a saída "Q" é levada ao estado 1 por um ciclo de varredura da CPU retornando a 0 na próxima execução do bloco.

2.16.9 Bloco de Detecção de Borda "F_TRIG"

O Bloco de função "F_TRIG" (*Falling edge detection*) é utilizado para a detecção de bordas descendentes, ou seja do estado 1 para o estado 0 (Schneider, 2007). A Figura 14 mostra a representação gráfica do bloco e os tipos de variáveis (*data type*) possíveis.

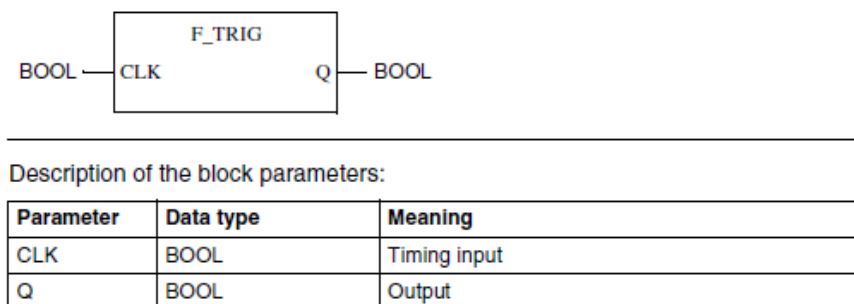


Figura 14 - Bloco F_TRIG (Fonte: Schneider Eletric).

Quando a entrada "CLK" passa do estado 1 para o estado 0, a saída "Q" é levada ao estado 1 por um ciclo de varredura da CPU retornando a 0 na próxima execução do bloco.

2.16.10 Bloco de Função Biestável "Reset" dominante (RS)

O Bloco RS (Figura 15) memoriza a saída Q1 após a ativação da entrada S. Quando a entrada R1 é ativada, a saída Q1 retorna desativada. Caso as entradas S e R1 sejam ativadas simultaneamente, a saída Q1 permanecerá desativada. ("Reset" dominante).

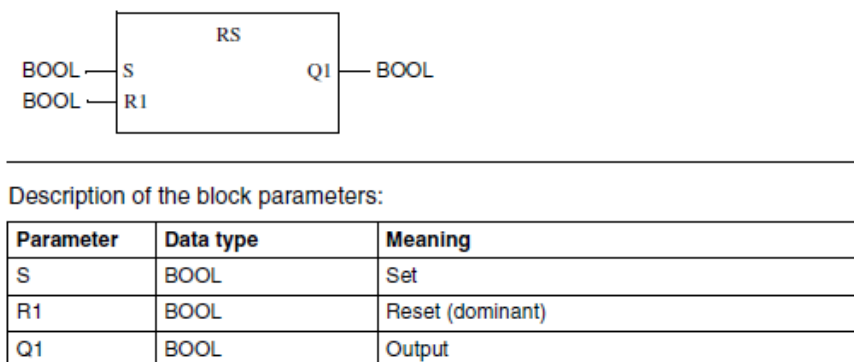
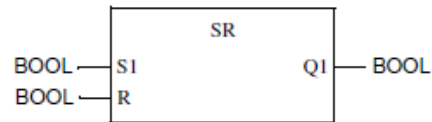


Figura 15 - Bloco RS (Fonte: Schneider Eletric).

2.16.11 Bloco de Função Biestável "Set" dominante (SR)

O Bloco SR memoriza a saída Q1 após a ativação da entrada S. Quando a entrada R1 é ativada, a saída Q1 retorna desativada. Caso as entradas S e R1 sejam ativadas simultaneamente, a saída Q1 permanecerá ativada. ("Set" dominante).



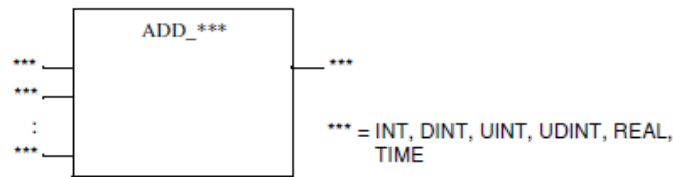
Description of the block parameters:

Parameter	Data type	Meaning
S1	BOOL	Set (dominant)
R	BOOL	Reset
Q	BOOL	Output

Figura 16 - Bloco SR (Fonte: Schneider Electric).

2.16.12 Bloco de Soma "ADD"

O Bloco de função "ADD" soma as entradas atribuindo o resultado na saída. A Figura 17 mostra a representação gráfica da função, bem com os tipos de variáveis permitidas.



INT, DINT, UINT, UDINT, REAL:

OUT = IN1 + IN2 + .. INn

TIME:

OUT = IN1 + IN2

Description of the block parameters

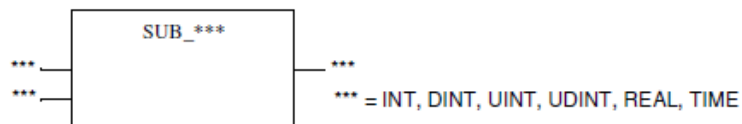
Parameter	Data type	Meaning
IN1	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME	Summand
IN2	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME	Summand
INn	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL	Summand
OUT	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME	Sum

Figura 17 - Bloco ADD (Fonte: Schneider Electric).

Para tipos "INT" e "REAL", pode-se utilizar de 2 a 32 entradas. Para o tipo "TIME" pode-se utilizar 2 entradas.

2.16.13 Bloco de Subtração "SUB"

O Bloco de função "SUB" subtrai as entradas atribuindo o resultado na saída. A Figura 18 mostra a representação gráfica da função, bem com os tipos de variáveis permitidas.



OUT = IN1 - IN2

Description of the block parameters:

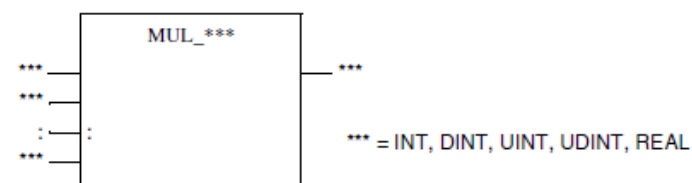
Parameter	Data type	Meaning
IN1	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME	Minuend
IN2	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME	Subtrahend
OUT	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME	Difference

Figura 18 - Bloco SUB (Fonte: Schneider Electric).

O bloco de função “*SUB*” só permite 2 entradas e uma saída.

2.16.14 Bloco de Multiplicação "*MUL*"

O Bloco "*MUL*" processa a multiplicação das entradas atribuindo o resultado na saída. O Bloco de função "*MUL*" pode ser utilizado com variados tipos de dados, porém as entradas e saídas devem ser de tipos idênticos. A Figura 19 mostra a representação gráfica da função, bem com os tipos de variáveis permitidas.



$$\text{OUT} = \text{IN1} \times \text{IN2} \times \dots \times \text{IN}_n$$

Description of the block parameters:

Parameter	Data type	Meaning
IN1	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL	Multiplicand (factor)
IN2	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL	Multiplier (factor)
INn	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL	Multiplier (Factor)
OUT	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL	Product

Figura 19 - Bloco MUL (Fonte: Schneider Eletric).

2.16.15 Bloco de divisão "*DIV*"

O Bloco "*DIV*" processa a Divisão da entrada pela segunda entrada atribuindo o resultado na saída. O Bloco de função "*DIV*" pode ser utilizado com variados tipos de dados, porém as entradas e saídas devem ser de tipos idênticos. A Figura 20 mostra a representação gráfica da função, bem com os tipos de variáveis permitidas.

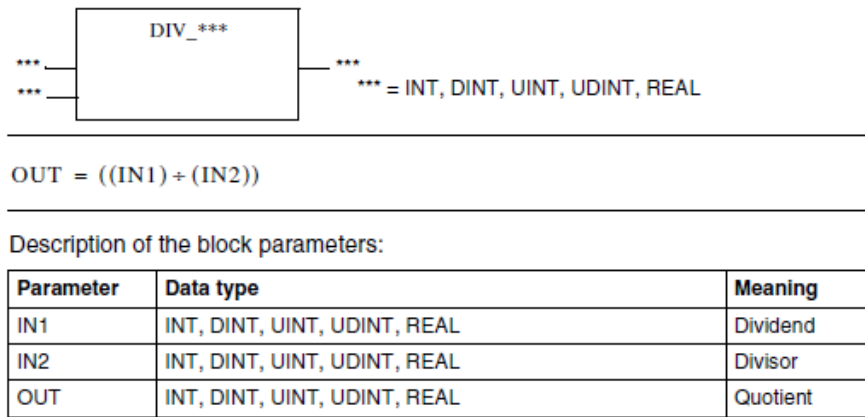


Figura 20 - Bloco DIV (Fonte: Schneider Eletric).

Este bloco não processa a divisão quando a entrada 2 (IN2) for igual a zero, reportando uma mensagem de erro.

2.16.16 Bloco de comparação "EQ"

O Bloco "EQ" verifica se as entradas são iguais e atribui o valor 1 na saída em caso afirmativo e caso contrario atribui valor 0. A Figura 21 mostra a representação gráfica da função, bem com os tipos de variáveis permitidas.

Os tipos de dados a ser comparado devem ser do mesmo tipo.

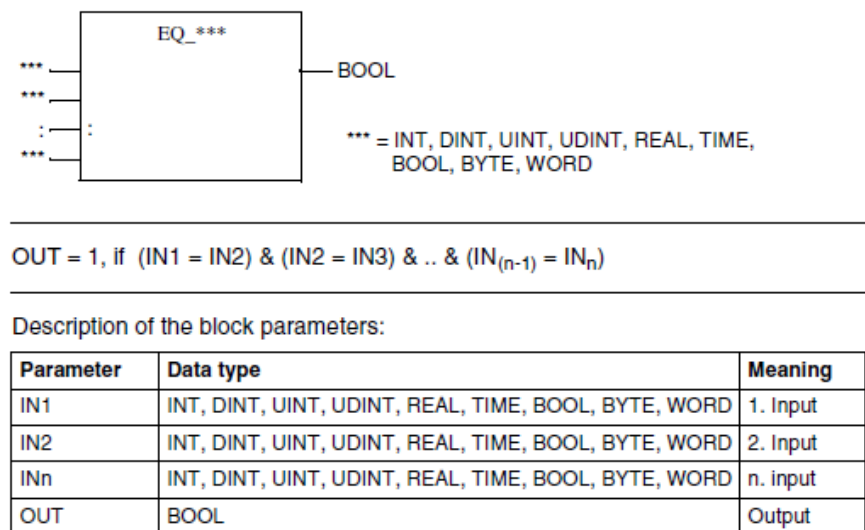


Figura 21 - Bloco EQ (Fonte: Schneider Eletric).

2.16.17 Bloco de comparação "GT"

O Bloco "GT" (*Greater Than*) processa a comparação de uma sequência de entradas sucessivas, verificando se a primeira entrada é maior que todas as demais. Veja a representação gráfica da função na Figura 22.

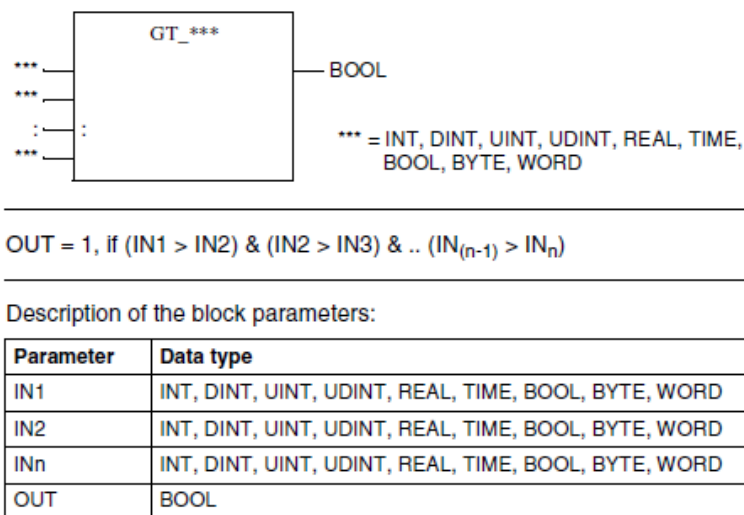
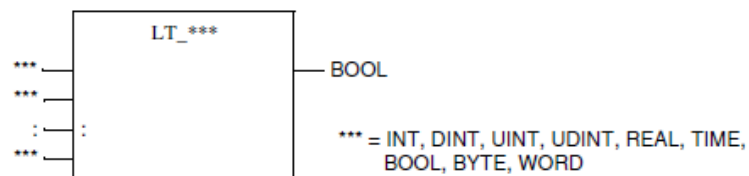


Figura 22 - Bloco GT (Fonte: Schneider Electric).

Caso a entrada *IN1* seja maior que as demais, é atribuído o valor 1 na saída *OUT*.

2.16.18 Bloco de comparação "LT"

O bloco de função "LT" (*Less Than*) processa a comparação de uma sequência de entradas sucessivas, verificando se a primeira entrada é menor que as demais. Veja a representação gráfica da função na Figura 23.



OUT = 1, if (IN1 < IN2) & (IN2 < IN3) & .. & (IN_(N-1) < IN_n)

Description of the block parameters:

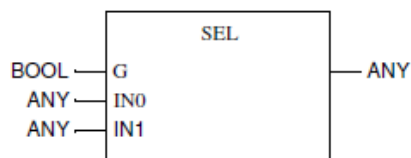
Parameter	Data type	Meaning
IN1	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME, BOOL, BYTE, WORD	1. Input value
IN2	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME, BOOL, BYTE, WORD	2. Input value
INn	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME, BOOL, BYTE, WORD	n. input value
OUT	BOOL	Output value

Figura 23 - Bloco *LT* (Fonte: Schneider Eletric).

Caso a entrada *IN1* seja menor que as demais, é atribuído o valor 1 na saída *OUT*.

2.16.19 Bloco de Seleção "SEL"

O bloco de função "*SEL*" é utilizado para fazer uma seleção binária entre duas entradas. A Figura 24 mostra a representação gráfica do bloco "*SEL*".



Description of the block parameters:

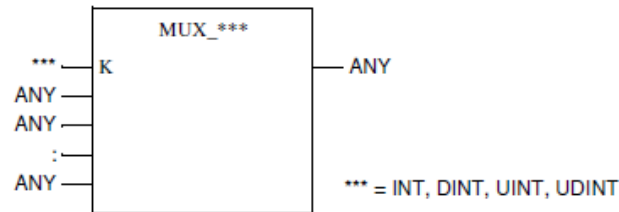
Parameter	Data type	Meaning
G	BOOL	Selection input
IN0	ANY	Input 0
IN1	ANY	Input 1
OUT	ANY	Output

Figura 24 - Bloco *SEL* (Fonte: Schneider Eletric).

Se a entrada "G" (Entrada de Seleção) estiver com valor 0, é atribuída a saída "OUT" o valor da entrada "IN0". Caso a entrada "G" esteja com valor 1, então é atribuída à saída

"OUT" o valor da entrada "IN1". O Bloco de função "SEL" aceita todos os tipos de dados definidos pela norma IEC 61131-3, porém os dados tratados devem ser do mesmo tipo.

2.16.20 Bloco Multiplexador "MUX"



Description of the block parameters:

Parameter	Data type	Meaning
K	INT, DINT, UINT, UDINT	Selection input
IN0	ANY	0. Input
IN1	ANY	1. Input
IN2	ANY	2. Input
INn	ANY	n. input
OUT	ANY	Output

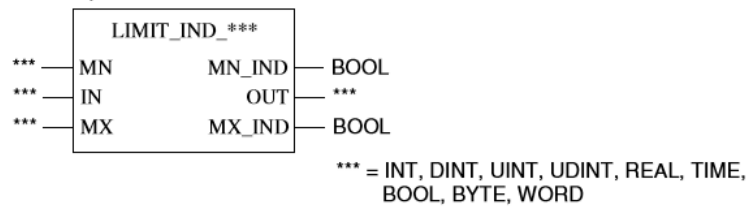
Figura 25 - Bloco MUX (Fonte Schneider Eletric).

O bloco multiplexador "MUX" transfere uma entrada para a saída dependendo do valor selecionado.

Pode ser programado com 2 a 32 entradas. Se a entrada "K" estiver com valor 0, então a entrada "IN0" é transferida para a saída "OUT". Se o valor da entrada "K" for igual a 1, então o valor de IN1 é transferido para a saída "OUT" e assim por diante.

2.16.21 Bloco "LIMIT_IND"

O Bloco *LIMIT_IND* faz uma comparação do valor de entrada "IN" com os limites determinados em "MN" e "MX", sendo "MN" o limite mínimo e "MX" o limite máximo. Caso o valor atribuído na entrada "IN" for menor que o valor atribuído na entrada "MN", a saída "MN_IND" é ativada. Caso o valor atribuído na entrada "IN" for maior que o valor atribuído na entrada "MX", a saída "MX_IND" é ativada. Este bloco traz a facilidade para acionar uma lógica quanto uma variável está dentro de uma faixa desejada,



Block parameter description:

Parameter	Data type	Meaning
MN	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME, BOOL, BYTE, WORD	Limit of minimum value
IN	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME, BOOL, BYTE, WORD	Input
MX	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME, BOOL, BYTE, WORD	Limit of maximum value
MN_IND	BOOL	Display of minimum value violation
OUT	INT, DINT, UINT, UDINT, REAL, TIME, BOOL, BYTE, WORD	Output
MX_IND	BOOL	Display of maximum value violation

Figura 26 - Bloco LIMIT_IND (Fonte: Schneider Eletric).

2.16.22 Bloco de controle "PID_PI"

O bloco de função *PID_PI* reproduz um controlador PID. a Figura 27 mostra a representação grafica do bloco.

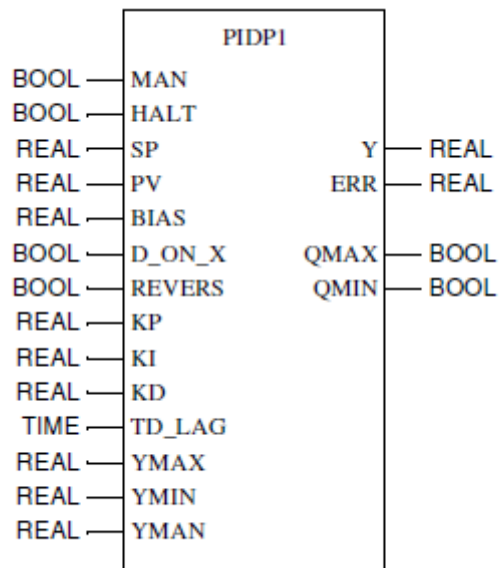


Figura 27 - Bloco PID (Fonte: Schneider Eletric).

Um desvio ou erro é formado pela diferença entre a variável controlada (PV). Este desvio gera uma modificação na variável manipulada (Y). A função de transferência deste bloco é dada por:

$$G(s) = KP + \frac{KI}{s} + \frac{KD * s}{s + \frac{1}{TD_LAG}}$$

onde:

- KP = Componente Proporcional;

- $\frac{KI}{s}$ = Componente Integral;

- $\frac{KD*s}{s + \frac{1}{TD_LAG}}$ = Componente Derivativo.

2.16.23 Blocos Derivados (DFB)

O *software* de programação CONCEPT permite a construção de blocos de função derivados (*Derived Function Block - DFB*). Usuários experientes podem construir estes blocos derivados e então utiliza-los em seus programas (SCHNEIDER, 2010). Estes blocos são construídos com a finalidade de encapsular dentro deles, lógicas semelhantes e repetitivas, de forma a reduzir a área gráfica do programa, bem como facilitar o entendimento do programa.

Um exemplo de *DFB* é apresentado na Figura 28, onde tem-se um bloco "AND" e um bloco "RS" encapsulado dentro do bloco "AND_RS". Note que a área gráfica ocupada pelo bloco AND_RS é bem menor que a área dos blocos programados individualmente.

Lógicas complexas podem ser encapsuladas dentro de um *DFB*. O limite estará nos pinos de entrada e saída do bloco que podem ser no máximo 32. Internamente a lógica fica limitada a memória do *CLP*.

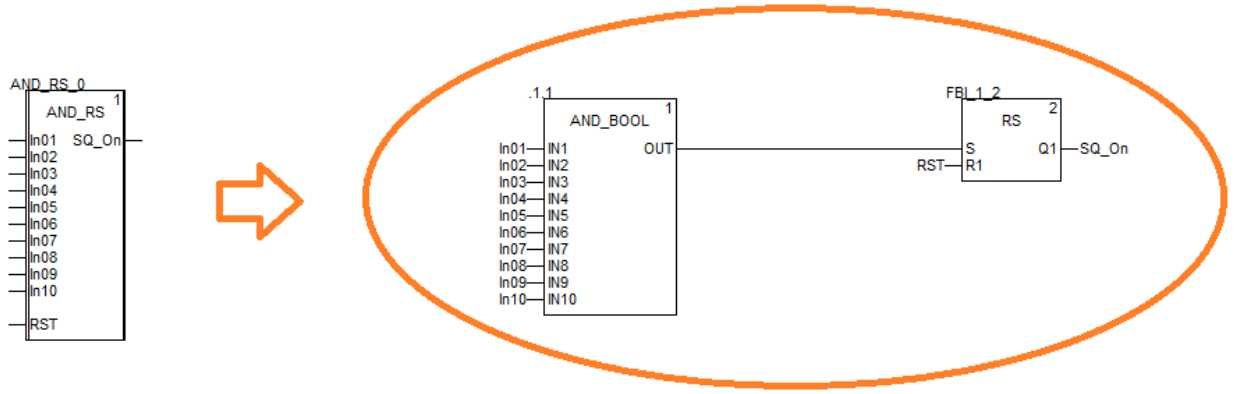


Figura 28 - Exemplo de Bloco de Função Derivado (DFB).

3 Implementação

3.1 Divisão das Seções do Programa

O programa foi estruturado em várias seções para facilitar o entendimento de quem possa vir a avaliar o programa para uma eventual necessidade em termos de manutenção, ou para pesquisa de eventos indesejáveis e não identificados na implantação e/ou operação do alimentador móvel.

A Figura 29 apresenta a estrutura do programa, que ficou assim dividida:

- I. **Acionamento Translação (ACIONAMENTO_TRANSL):** Esta seção contém a lógica básica que atua nos motores de translação através dos inversores. Foram programados aqui os comandos para translação de "avançar" e "recuar", tanto no modo "Manual", quanto no modo "Automático";
- II. **Controle Translação (CONTROLE_TRANSLACAO):** Seção que contém a lógica de posicionamento do alimentador móvel. Aqui é definido o silo de destino do alimentador móvel, bem como o tempo de permanência sobre o mesmo quando o alimentador móvel se posicionar sobre este silo;
- III. **Identificação de linha parada (Identificacao_Linha_Parada):** É necessário identificar as linhas que estão paradas e/ou não-disponíveis para atuar no destino do alimentador móvel. Esta seção será detalhada no item 3.5;
- IV. **Identificação de Sequência (Identificacao_Sequencia):** Uma vez identificadas as linhas (silos) paradas, a lógica vai gerar quais sequência pode ser acionada para movimentação do alimentador móvel. As sequências estão descritas nos tópicos 3.6 e 3.7. A lógica básica de uma sequência de translação está descrita no tópico 3.8;

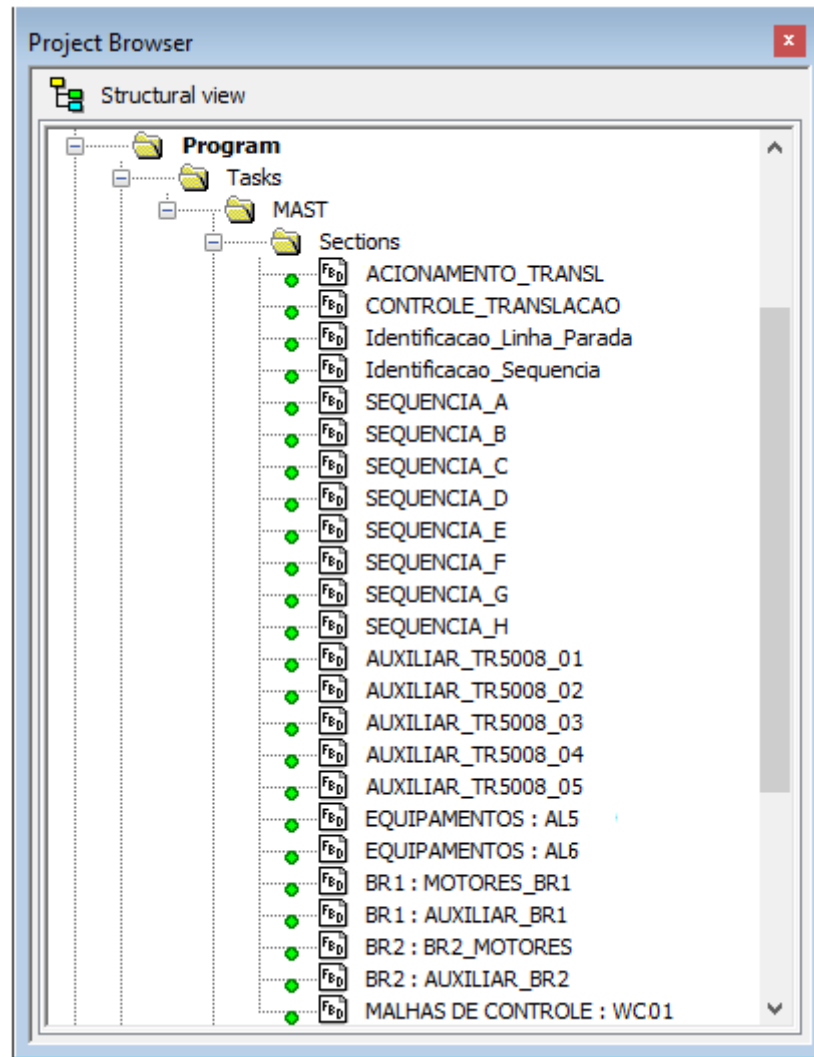


Figura 29 - Árvore do Programa.

- V. **Sequência A a H (SEQUENCA_A a SEQUENCIA_H).** Contém a lógica das seqüências dos grupos A, B, C, D, E, F, G e H descritas no tópico 2.8;
- VI. **Lógicas Auxiliares (AUXILIAR_TR5008_01 a AUXILIAR_TR5008_05):** Estas seções contêm lógicas que auxiliam as demais seções do programa, como por exemplo, determinação de silos cheios, muito cheios, vazios ou muito vazios, etc.;
- VII. **Equipamentos (AL5, AL6, BR1, BR2):** Nestas seções estão desenvolvidas as lógicas de acionamento de equipamentos que operam juntamente com o alimentador móvel;
- VIII. **Malha de Controle (WC01):** Aqui está programada a lógica do controle da taxa de alimentação de minério sobre as correias que levam o minério até os

silos para serem abastecidos através do alimentador móvel. Este controle está descrito no tópico 3.10.;

- IX. **Equipamentos (AL1, AL2, AL3, AL4):** Nestas seções foram programados os controles dos alimentadores de esteira que ficam sob a pilha pulmão.

3.2 Acionamento do Movimento de Translação - Atribuição do destino

Para iniciar a movimentação do alimentador móvel, é necessário verificar algumas condições prévias: Condições de estado geral dos equipamentos, tais como ausência de defeitos de campo (emergência, sobrecursos, chaves de entupimento), ausência de defeitos elétricos (relé de proteção de motor atuado, circuito elétrico desligado) e tem as condições de processo tais como silos disponíveis para abastecimento.

Verificadas as condições gerais de estado do equipamento e do processo, o programa irá estabelecer um silo de destino para que o alimentador móvel se movimente até este silo. Como em condições normais o alimentador fica parado abastecendo um silo, para que o mesmo se movimente é necessário que aconteça uma das situações:

- Tempo de permanência no silo expirado;
- Final de uma sequência;
- Alimentador sobre linha (silo) não disponível;
- Um dos silos extremos com nível muito baixo;
- Retorno de operação;
- Início operação Automática.

Ocorrendo uma das situações citadas, é atribuído o novo destino para o alimentador móvel.

3.2.1 Implementação Lógica do Movimento de Translação

A Figura 30 apresenta a implementação da lógica de atribuição de destino para o alimentador móvel. Esta atribuição de destino é que fará com que o alimentador inicie um movimento de translação.

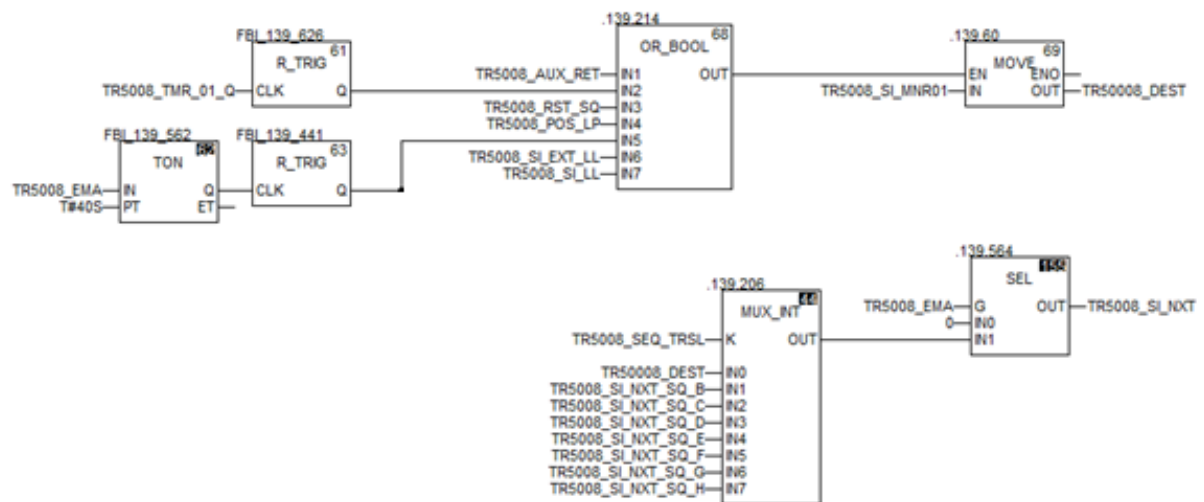


Figura 30 - Lógica de Atribuição de Destino.

O retorno operacional (TR5008_AUX_RET), tempo de permanência atingido (TR5008_TMR_01Q), final de sequência (TR5008_RST_SQ), posicionado sobre linha "não disponível" (TR5008_POS_LP) ou silos extremos com nível baixo/muito baixo (TR5008_SI_EXT_LL/TR5008_SI_LL) atribui o silo de menor nível (TR5008_SI_MNR01) como destino (TR5008_DEST) para movimentação. O Destino do alimentador será o próximo silo (TR5008_SI_NXT) a ser abastecido. A variável "TR5008_SI_NXT" contém um valor inteiro entre 1 e 6, que por sua vez atribui a variável "TR5008_AUX_POS1" a posição desejada em metros conforme Tabela 48.

Caso o destino seja diferente da posição atual do alimentador móvel, o mesmo irá se movimentar até que a posição do mesmo seja igual ao destino. Esta lógica está descrita no item 3.4.

3.3 Identificação de posição

A identificação de posição é obtida a partir do medidor de posição a laser. Este medidor fornece a posição do alimentador móvel de 0 a 35m. Em cada silo o alimentador se posiciona com o "shut" de descarga na posição central do mesmo. Esta posição central corresponde às medidas conforme Tabela 48.

Tabela 48 - Relação Silo x Posição (m).

Silo	01	02	03	04	05	06
Posição (m)	0	7	14	21	28	35

A lógica para determinação da posição é apresentada na Figura 31. Um bloco de função "LIMIT_IND" é utilizado juntamente com um bloco "AND_BOOL" para acionar a variável que indicará sobre qual silo o alimentador está posicionado.

A situação de programa apresentada na Figura 31 mostra que o alimentador móvel está situado sobre o silo 5. Para os silos 1 e 6, que são os silos situados nas extremidades, a posição é informada através de blocos comparadores "GE_REAL" (Maior ou Igual) e "LE_REAL" (Menor ou igual).

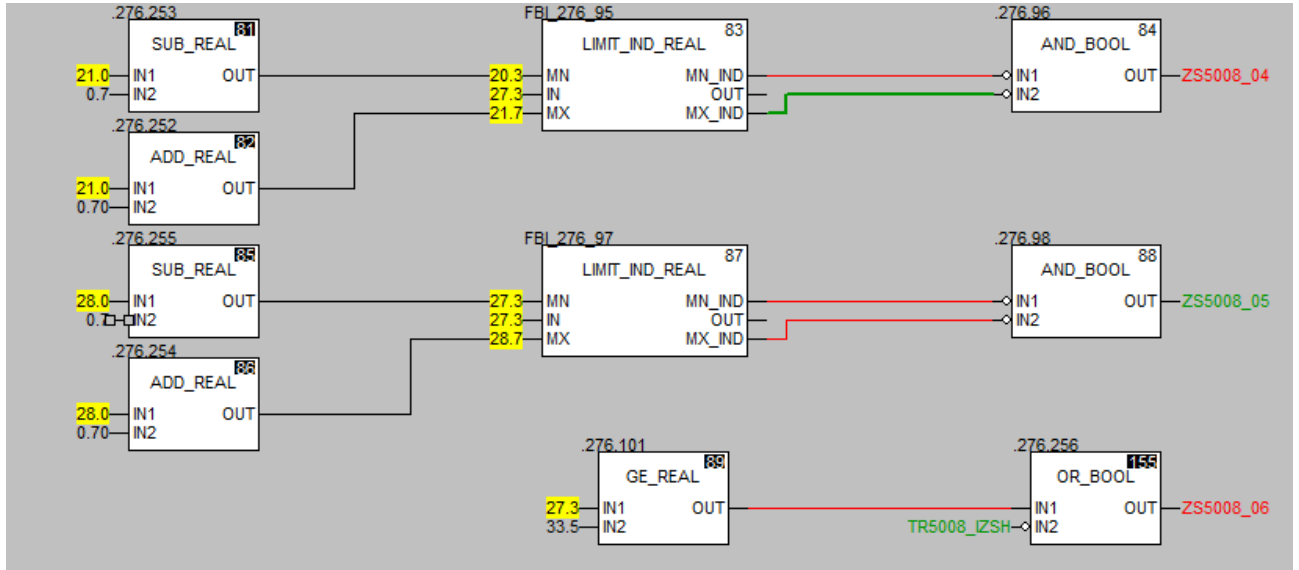


Figura 31 - Lógica (parcial) para identificação da posição do alimentador móvel.

3.4 Posicionamento do alimentador sobre o silo

O posicionamento do alimentador móvel é efetuado pela lógica apresentada na Figura 32.

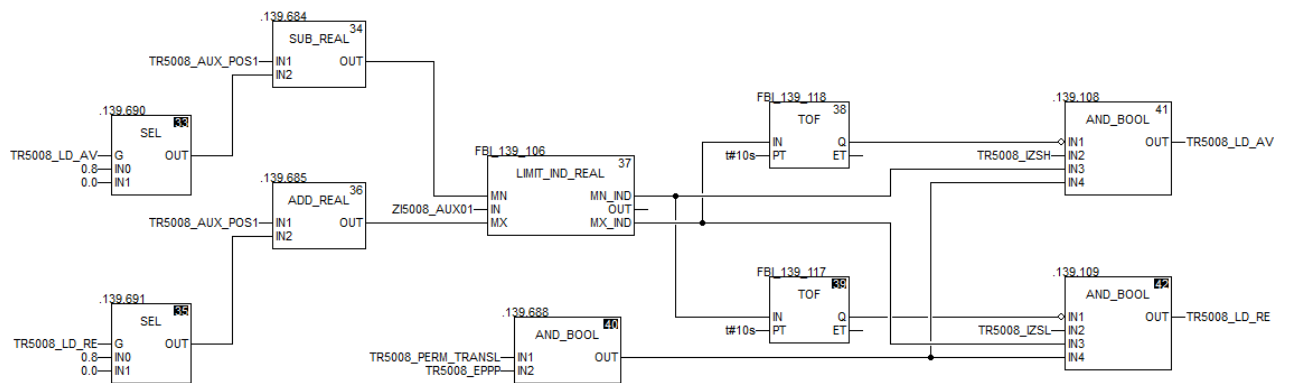


Figura 32 - Lógica de movimentação (Avanço/Recuo) da translação.

A variável TR5008_AUX_POS1 contém o valor de destino do alimentador móvel. O Bloco "LIMIT_IND_REAL" fará a comparação com a posição atual do alimentador móvel (ZI5008_AUX1). Estando abaixo da posição (saída MN_IND), será acionado o movimento de "avançar" (TR5008_LD_AV). Estando acima da posição (saída MX_IND), será acionado o movimento de "recuar" (TR5008_LD_RE). Os blocos de programa "TOF" fazem a proteção contra reversões indesejáveis, não permitindo que se reverta o acionamento antes de decorrer 10 segundos do movimento no sentido oposto parado. Os sensores "fim de curso" TR5008_IZSL e TR5008_IZSH fazem a proteção nos extremos do curso de translação para que o alimentador móvel não ultrapasse os limites possíveis de movimentação. É estabelecida uma margem de 0,8 metros devido aos ruídos de medição causados por vibração ou interferências eletromagnéticas.

3.5 Identificação de silos parados - Não disponíveis

Para que o alimentador móvel obtenha um destino para movimentação é necessário identificar os silos que não estão disponíveis (parados ou muito cheios), e excluí-los da lista de possíveis destinos. Esta identificação é feita avaliando as seguintes condições:

- Nível do silo maior que 75%;
- Nível médio do silo maior que 65% (calculado na última hora);
- Nível do silo maior que 50 % com o alimentador sob o mesmo parado;
- Alimentador sob o silo parado;

- Alimentador sob o silo em modo de operação "Manual".

A Figura 33 mostra parte da implementação da lógica para identificação de silos "não disponíveis".

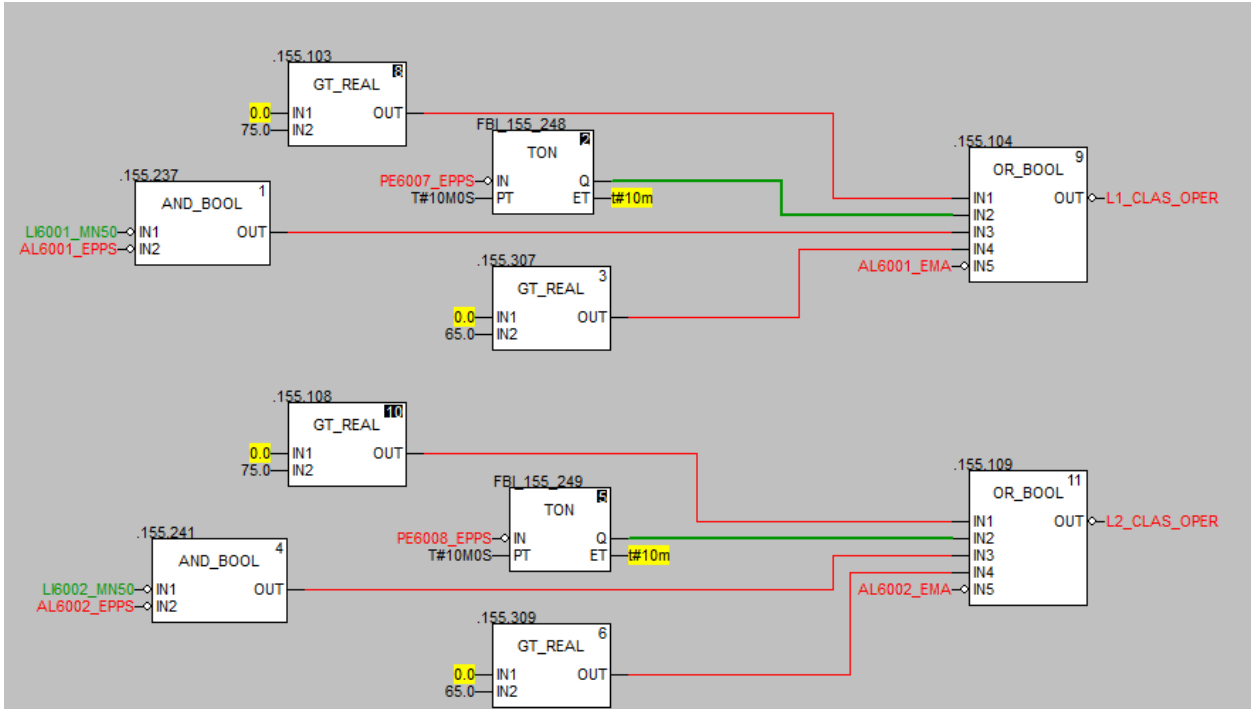


Figura 33 - Lógica para identificação de silos disponíveis em modo de simulação.

A partir da constatação do silo disponível, passa-se a identificar o silo com o menor nível. Este será o destino do alimentador móvel. Caso o silo de menor nível fosse o silo em que o alimentador móvel estivesse posicionado, a lógica poderia entrar em um *loop*, uma vez que quando o mesmo está descarregando minério, ocorre um efeito indesejável no medidor de nível, que perde a referência. Desta forma o silo sob o alimentador móvel é excluído da lógica de identificação de silo com menor nível.

3.6 Identificação de Situações Operacionais

A identificação da situação operacional irá fornecer subsídio para ativar a sequência operacional mais adequada para a movimentação do alimentador móvel. A situação

operacional é obtida através da lógica apresentada na Figura 34. Esta lógica se utiliza de variáveis geradas na seção de identificação de linhas em operação.

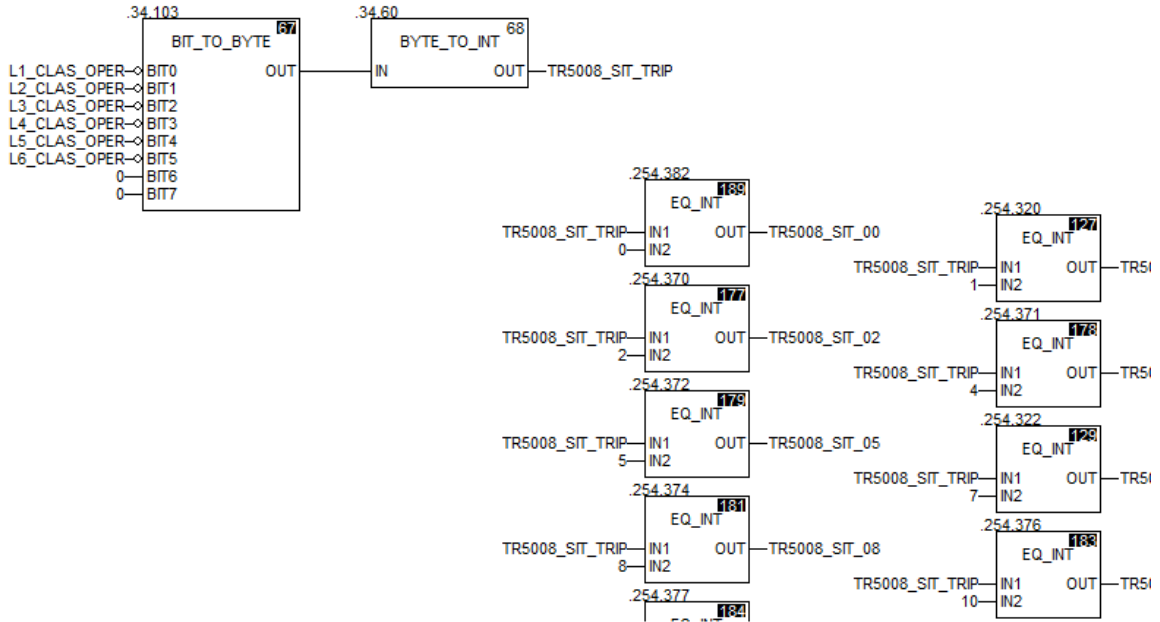


Figura 34 - Lógica para identificação das "situações operacionais".

3.7 Ativação de Sequências de Movimentação

A ativação de sequências de movimentação se dá após a ocorrência simultânea de todas as premissas necessárias. Estas premissas foram estabelecidas de acordo com as situações operacionais descritas no item 2.5. De uma forma geral a ativação de uma sequência de movimentação ocorre quando se tem:

1. A situação operacional para a sequência em questão;
2. O Alimentador móvel posicionado no silo de ativação da sequência;
3. O silo isolado com o nível abaixo do valor estabelecido para a sequência;
4. Nenhuma outra sequência do mesmo grupo ativada.

A Figura 35 mostra a lógica para ativação da sequência "2C". Esta é uma sequência do "Grupo B", onde o silo 2 encontra-se indisponível.

Esta sequência é ativada:

1. Estando a planta na "*Situação Operacional*" 2 (TR5008_SIT_2);
2. O alimentador posicionado no silo de ativação, que nesta situação é o silo 6 (TR5008_SET_SQ_S6);
3. Nenhuma outra subsequência do mesmo grupo ativada (TR5008_SQ2A, TR5008_SQ2B, TR5008_SQ2D, TR5008_SQ2E...)
4. Nível do silo 5 maior que 45% (LI6005_MN45);
5. Nível do silo 4 maior que 45%;
6. Nível do silo 6 maior que 50%;
7. Nível do silo 1 menor que 50%.

A entrada RST (TR5008_RST_SQ_B) corresponde à desativação da sequência, que ocorre ao final dos passos previstos.

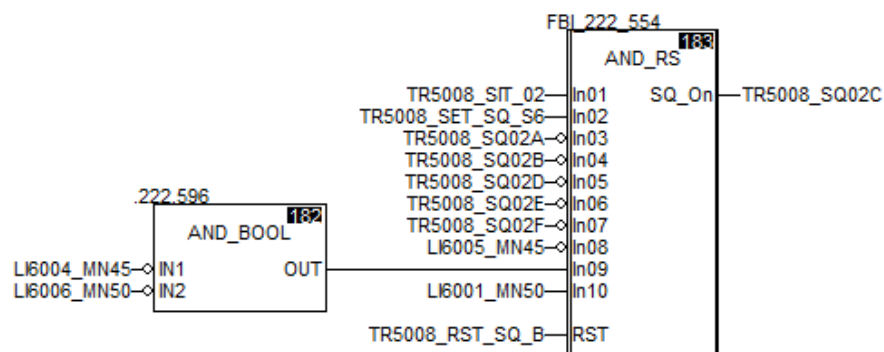


Figura 35 - Lógica de Ativação da Sequência "2C".

Após a ativação, a lógica seguirá os passos determinados para cumprir os movimentos necessários e sequenciais.

3.8 Sequências de Movimentação

A sequência de movimentação é feita conforme os passos definidos no item 2.8. A lógica é implementada da seguinte forma: após a ativação da sequência a mesma atribui um identificador numérico para tratamento da lógica dentro do grupo a qual a sequência pertence. Na Figura 36 o primeiro bloco ID_BIT apresentado faz esta função, que no caso identifica

qual sequência do grupo B foi ativada. O bloco ID_BIT é um bloco do tipo DFB que internamente faz um tratamento binário de forma a atribuir na saída o valor da entrada que está ativada. O segundo bloco mostrado na Figura 36 faz a identificação de qual das subsequências foi ativada. No caso, identifica qual das subsequências da sequência 2 foi ativada.

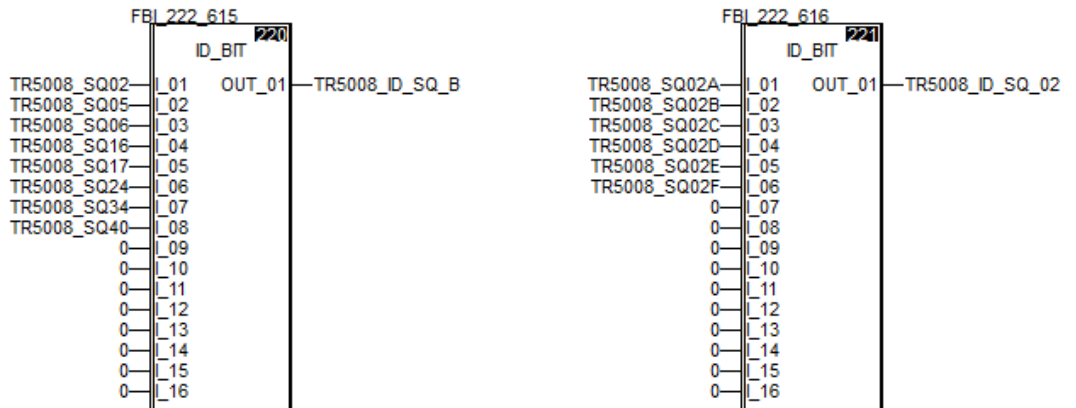


Figura 36 - Identificação de Sequência e Subsequência Operacional.

O identificador de qual sequência foi ativada, servirá para atribuir os destinos e tempos de parada (pausa) na translação.

Uma vez ativada e identificada a sequência operacional, dá-se início ao passo 01 da sequência de movimentação. Então deverá ser dado um destino de movimentado para o alimentador móvel. O destino é atribuído conforme com a lógica apresentada na Figura 37. Uma das sequências do grupo "B" estando ativas é ativada a variável TR5008_SQ_B, que por sua vez após um tempo de 5 segundos ativa o passo 01, identificado na lógica pela variável TR5008_SQ_B_PS01. O destino é atribuído no Bloco MUX_INT em função do valor contido na variável TR5008_DI_SQ_B que é um número inteiro resultado da lógica apresentada na Figura 36. O alimentador móvel então irá se movimentar até que a posição do mesmo seja igual ao destino. O alimentador móvel ao chegar ao destino fica parado (Em Pausa) pelo tempo definido na variável TR5008_SQ_B_PA1. Passado este tempo é iniciado o passo 02. Cada passo na sequência de movimentação tem lógica semelhante, alterando se o destino e os tempos de parada.

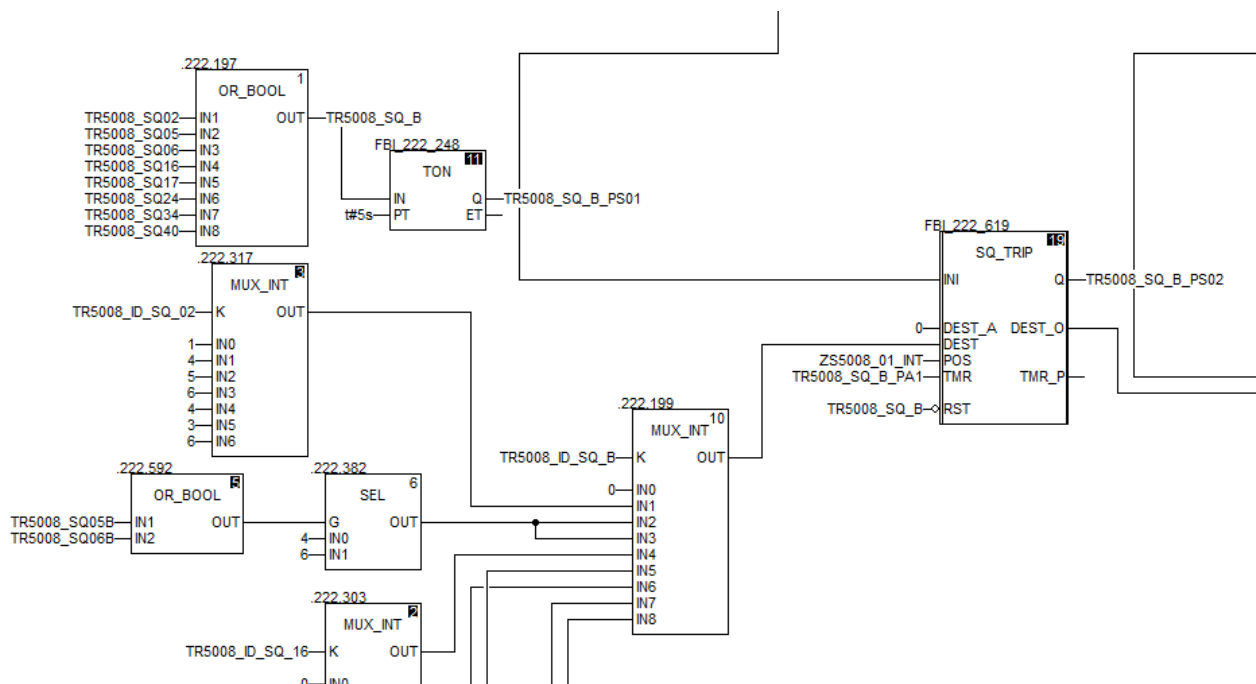


Figura 37 - Lógica do passo inicial da sequência de movimentação.

Ao ser ativado o passo 01, é também iniciado a contagem de tempo para interromper a alimentação das correias que levam minério até o alimentador móvel, para que o mesmo possa transpor o silo que estiver inoperante.

Um dos destinos nesta sequência de movimentação é o silo que será abastecido. Ao chegar neste silo o alimentador móvel ficará parado pelo tempo determinado ao iniciar a sequência de movimentação. Ao final do último passo a sequência é finalizada, retornando a lógica para a sequência A até que o alimentador móvel se coloque em uma situação de ativação de alguma sequência de movimentação.

3.9 Controle de velocidade de translação

O Alimentador móvel tem a sua velocidade de translação controlada por inversor de frequência atuando em seus motores. Existem 3 velocidades definidas para este controle, a saber:

- 100% da velocidade nominal do motor: É utilizada quando o alimentador está posicionado em um determinado silo e o silo de destino está com nível crítico (< 25 %);
- 80% da velocidade nominal do motor: É utilizado quando o alimentador está em translação considerada normal, ou seja, os níveis dos silos estão dentro da média considerada não crítica;
- 50% da velocidade nominal do motor: É utilizado quando o alimentador está passando sobre um silo com nível abaixo de 55% e o silo de destino está com nível considerado não crítico;
- 5% da velocidade nominal do motor: É utilizado momentos antes do acionamento do motor e enquanto o freio estiver acionado, evitando sobrecarga no início de funcionamento.

Os níveis dos silos são considerados críticos quando os mesmos estão abaixo de 25%.

A Figura 38 mostra a parte do programa onde é determinada a referência de velocidade para os motores de translação.

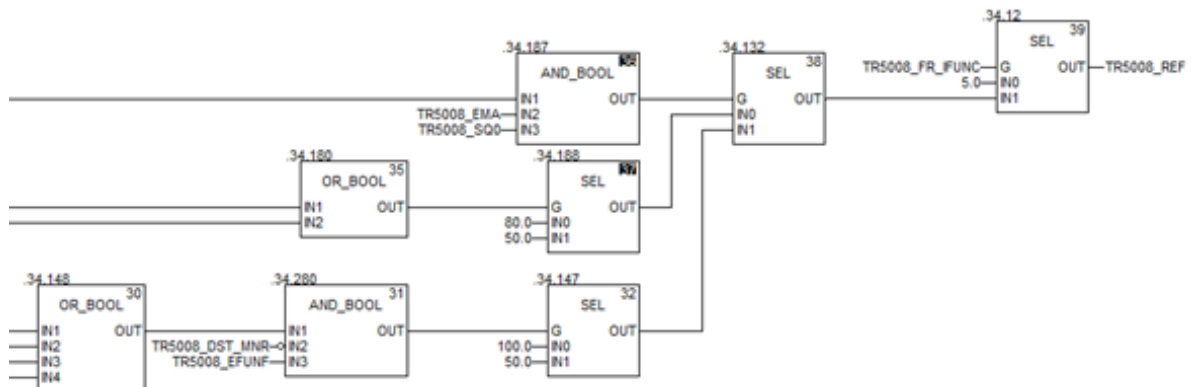


Figura 38 - Lógica (parte) de atribuição de referência de velocidade de translação.

3.10 Controle de Taxa

O controle de taxa é feito com duas malhas de controle em cascata. A primeira malha de controle tem como variável de processo (PV) o nível médio dos seis silos, com *set-point* (SP) fixo em 55%. Gera uma saída para uma variável manipulada (MV) virtual. Esta variável é escalonada para gerar o *set-point* da segunda malha de controle. A segunda malha de controle tem como variável de processo a taxa de alimentação dos silos que pode variar de 0 a 3050 t/h, e gera uma saída para a variável manipulada que atua como referência de velocidade nos alimentadores sob a pilha "pulmão".

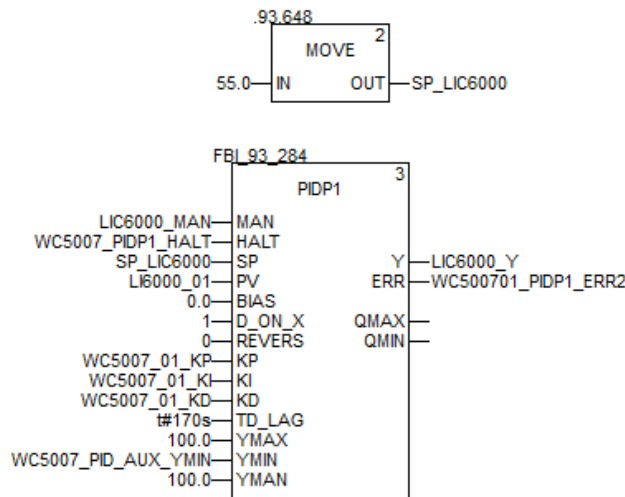


Figura 39 - Bloco PID programado para controle de nível.

Para programação destas malhas de controle foi utilizado o bloco PID_P1. A Figura 39 mostra a primeira malha de controle atuando em uma saída que varia de 0 a 100%. O *set-point* para esta malha de controle é fixo em 55%. Este valor foi definido em testes de comportamento dos silos. Com o nível médio dos silos acima de 55%, há uma tendência de compactação do minério nos silos, provocando entupimento dos mesmos.

A variável de processo (PV) desta malha é o nível médio dos silos (LI6000_01). As Variáveis WC5007_01_KP, WC5007_01_KI e WC5007_01_KD carregam os valores dos parâmetros Proporcional, Integral e Derivativo. A variável LI6000_Y vai gerar o por

escalonamento, o "*set-point*" (SPM5007_01) para a malha seguinte que vai controlar a taxa de minério no transportador de correia que alimenta a planta de beneficiamento.

No bloco PID para controle de taxa apresentado na Figura 40 a variável de processo (PV) WI5007_01 corresponde à taxa horária de minério sobre a correia transportadora TC-03. Este bloco PID gera uma saída para controle através da variável WC5005_Y, que é a referência para os atuadores, que neste caso são os inversores de frequência que acionam os alimentadores de sapatas AL-01, AL-02, AL-03 e AL-04 sob a pilha pulmão.

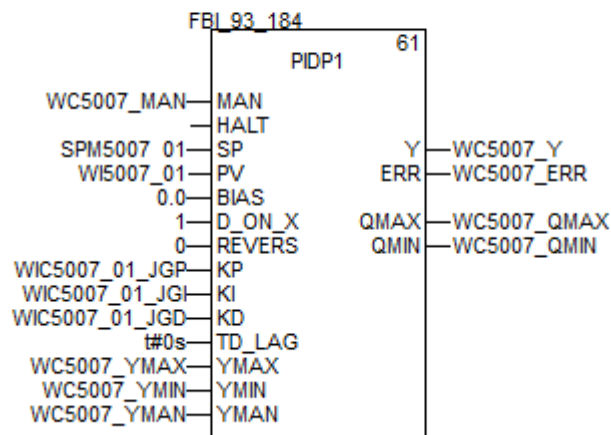


Figura 40 - PID programado para controle de taxa.

Os alimentadores da pilha pulmão são acionados em número máximo de 2 alimentadores. A capacidade de 1 alimentador é insuficiente para atender a taxa máxima de alimentação da usina. A capacidade de 2 alimentadores é suficiente para alcançar a taxa com folga. A Figura 41 apresenta uma amostra da atuação do controle de taxa. Após um degrau no *set-point* percebe-se uma oscilação temporária que logo desaparece. Esta oscilação não interfere de forma significativa no processo.

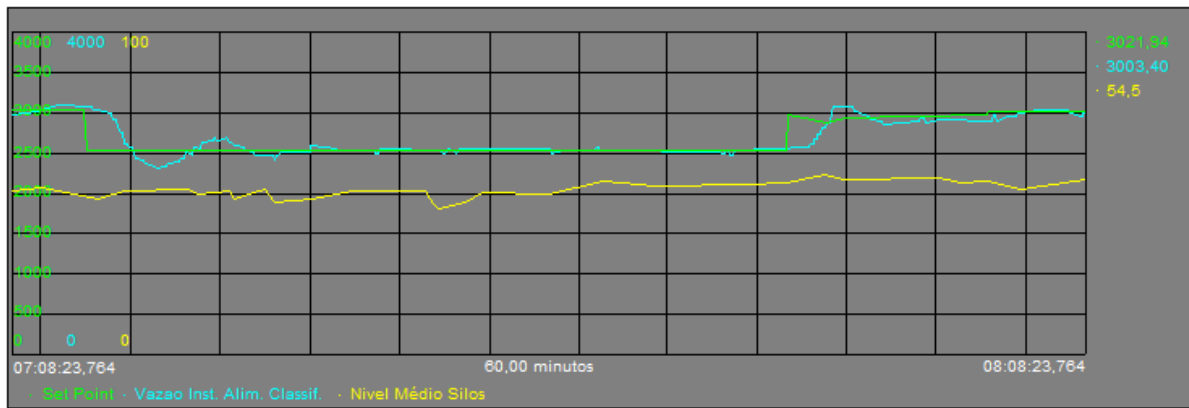


Figura 41 - Gráfico da taxa de alimentação e nível médio dos silos.

4 Conclusão

Este trabalho mostra a implementação de uma automatização de um alimentador móvel em uma usina de beneficiamento de minério de ferro, através do uso de Controlador Lógico Programável. A automatização possibilita uma operação mais uniforme e segura, eliminando o trabalho repetitivo, destinando operadores para funções mais específicas.

É possível afirmar que técnicas de automação modernas podem contribuir para melhorias de processos, como exemplificado neste trabalho, onde foram aplicados conceitos atuais em equipamento que foi projetado inicialmente para operação manual. Isto traz ganhos econômicos consistentes, possibilitando abertura para outras aplicações e/ou métodos de automatismos.

A implementação de controles via Controlador Lógico Programável abre espaço para o desenvolvimento de sistemas de otimização para processos industriais, muito buscado nas grandes empresas hoje em dia. Podem ser propostos a partir daqui técnicas de modelagem buscando um avanço no sistema ora em operação.

As técnicas de lógicas FUZZY também são promissoras para aplicações em processos industriais como o apresentado aqui neste trabalho.

Sendo assim, oportunidades de trabalhos de automatização são amplos na indústria abrindo espaço para o Engenheiro de Controle e Automação atuar.

Referências

LAMB, F. **Automação Industrial na Prática**. São Paulo, 2015, p.2.

SCHNEIDER ELETRIC. **Concept 2.6 IEC Block Library Part: ANA_IO**, 2007

_____. **Concept 2.6 IEC Block Library Part: IEC**, 2007

_____. **Concept 2.6 IEC Block Library Part: CONT_CTL**, 2007

_____. **Concept 2.6 IEC Block Library Part: EXTENDED**, 2007

_____. **Concept EFB User Manual**, 2010.

FREITAS, C.M. **Controlador Lógico Programável – CLP**.
<https://www.embarcados.com.br/controlador-logico-programavel-clp-parte-4/> 2014,
Acesso em novembro de 2016.

MASCHERONI, J.M. et al. **Guia de aplicação de inversores de frequência**. - Santa Catarina. WEG Automação ..., 2005

VALE S.A. Transportador TC-5008 – 60” – Conjunto Geral – Documento nº DF-123B-42-5001/0038

GOEKING, W. Memória da eletricidade, da máquina a vapor aos softwares de automação. Revista O Setor Elétrico, 2010.