

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

JACQUELINE BARREIRA MANOEL

**AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE
CONFORTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2015

JACQUELINE BARREIRA MANOEL

**AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE
CONFORTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título Especialista.

Orientador: Prof. MSc. Guilherme Alceu Schneider

CURITIBA

2015

RESUMO

MANOEL, Jacqueline B. Estudo da automatização de Sistema de Refrigeração de Conforto. 2014. Monografia (Especialização em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Os diferentes sistemas de condicionamento de ar para conforto fizeram com que seu emprego aumentasse em várias áreas industriais e comerciais. E, o desenvolvimento destes equipamentos de refrigeração necessitou que o controle do sistema fosse mantido de acordo com os padrões o projeto, de forma eficiente, apresentando maior vida útil dos componentes e não dependente exclusivamente da mão de obra humana como principal ferramenta de funcionamento. Diante disso, este estudo de automatização do processo de condicionamento de ar tem como objetivo levantar as características do sistema instalado atualmente e as particularidades do seu funcionamento e operação. Neste sentido, este trabalho analisa a maneira de automatizar o sistema, através do desenvolvimento de uma lógica de programação nas linguagens GRAFCET e Diagrama de Blocos e, tendo como premissa a viabilidade técnica-operacional do projeto proposto.

Palavras-chave: Automatização. Sistema de refrigeração de conforto. Ar condicionado. Controlador lógico programável.

ABSTRACT

MANOEL, Jacqueline B. Study of Automation Comfort Refrigeration System. 2014. Monografia (Especialização em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The different air conditioning systems for comfort made its employment increased in various industrial and commercial areas. And the development of these refrigeration equipments required that the system of control was maintained in accordance with the standards the project efficiently, with higher component life and not rely solely on the human labor as the main working tool. Thus, this study of automation of the air conditioning process intends to point the features of the system currently installed and the particularities of its functioning and operation. Accordingly, this study analyzes the way to automate the system, through the development of a programming logic in GRAFCET languages and Block Diagram and having as a premise the technical and operational viability of the proposed project.

Keywords: Automation. Comfort refrigeration system. Air conditioning. Programmable logic controller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe estrutural Bomba Centrífuga.....	13
Figura 2 – Detalhe estrutural Torre de Resfriamento	14
Figura 3 – Detalhe estrutural <i>Self Contained</i>	15
Figura 5 – <i>Layout</i> da instalação dos equipamentos na Cobertura	17
Figura 6 – Controlador lógico programável FX16 <i>Master Controller</i>	19
Figura 7 – Detalhes do FX16 Master Controller	20
Figura 8 – Interface do Software FX Builder	21
Figura 9 – Diagrama de pontos de controle da CAC.....	22
Figura 10 – Diagrama de pontos de controle das casas de máquinas.....	24
Figura 11 –Programação em GRAFCET - CAC	26
Figura 12 –Programação em GRAFCET – Casas de máquinas	27
Figura 13 – Tela inicial (nível 0) da lógica da CAC	28
Figura 14 – Tela macro (nível 1) da lógica da CAC	29
Figura 15 – Tela alarme da torre de resfriamento (nível 2).....	30
Figura 16 – Tela alarme de um dos ventiladores da torre (nível 3).....	31
Figura 17 – Tela inicial (nível 0) da lógica da casa de máquinas.....	32
Figura 18 – Tela macro (nível 1) da lógica da casa de máquinas.....	33
Figura 19 – Tela do ventilador (nível 2).....	35
Figura 20 – Tela de alarmes do <i>Self</i> (nível 3).....	36
Figura 21– Tela de alarme do ventilador (nível 4)	37

LISTA DE SIGLAS

BAC	Bomba de Água de Condensação
CAC	Central de Água de Condensação
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FDB	<i>Function Block Diagram</i>
GRAFCET	<i>Grphe Fonctionnel de Commande, Étapes Transitions</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	Controlador Lógico Programável
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
PROM	<i>Programmable Read-Only Memory</i>
TRA	Torre de Resfriamento de Água

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 TEMA	7
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	8
1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS	8
1.4. OBJETIVOS	9
1.4.1 OBJETIVO GERAL	9
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.5 JUSTIFICATIVA	10
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE CONFORTO	12
2.1 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE EQUIPAMENTOS	12
2.1.1 BOMBA CENTRÍFUGA	12
2.1.2 TORRE DE RESFRIAMENTO	13
2.1.3 CONDICIONADOR DE AR TIPO <i>SELF CONTAINED</i>	14
2.1.4 ACESSÓRIOS	15
2.2 DESCRIÇÕES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE CONFORMO	16
3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	18
3.1 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	18
3.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL ESTUDADO	18
4 PROGRAMAÇÃO	22
4.1 DIAGRAMA FUNCIONAL DO SISTEMA	22
4.2 PROGRAMAÇÃO EM GRAFCET	25
4.3 PROGRAMAÇÃO EM DIAGRAMA DE BLOCOS DA CENTRAL DE ÁGUA DE CONDENSAÇÃO	27
4.4 PROGRAMAÇÃO EM DIAGRAMA DE BLOCOS DA CASA DE MÁQUINAS	31
5 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Os diversos sistemas de condicionamento de ar fizeram com que seu emprego aumentasse em várias áreas industriais e comerciais. Entretanto, o desenvolvimento dos variados equipamentos de refrigeração de conforto necessitou que o controle do sistema fosse mantido de acordo com padrão o projeto. Diante disso, a automatização do processo de condicionamento de ar se tornou necessária para que se obtivesse um sistema eficiente, com maior vida útil maior dos componentes e, não dependente exclusivamente da mão de obra humana como principal ferramenta de funcionamento.

1.1 TEMA

As diversas características das estações do ano em cada ambiente, fez com que a utilização do condicionamento de ar fosse difundida. Climatizar um local não representa apenas o conforto térmico humano, mas também a necessidade de higiene, como por exemplos, em hospitais quando se requer que a pureza, a umidade relativa e a temperatura do ar fiquem dentro dos padrões especificados (TORREIRA, 2003).

Além disso, o condicionamento de ar é importante em processos de manufatura de precisão ou em locais que exigem controle de reações químicas (TORREIRA, 2003).

Inicialmente os sistemas de condicionamento eram realizados exclusivamente de forma manual, onde o operador era a ferramenta fundamental no processo (CASTRUCCI; MORAES, 2007). Ele era responsável pela operação total dos equipamentos.

Entretanto, com o avanço tecnológico nas diversas áreas de processo e da eletrônica, a automação Industrial se tornou cada vez mais presente nos processos industriais, inclusive nos sistemas de refrigeração de conforto, ou sistemas de ar condicionado (CASTRUCCI; MORAES, 2007). Este fato proporcionou um aumento na qualidade e eficiência na operação de condicionamento de ar.

Deste modo, este trabalho irá estudar a automatização do sistema de refrigeração de conforto, com o uso de controladores lógicos programáveis e seus periféricos (sensores e atuadores), a fim de melhorar e flexibilizar a operação total do sistema.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este projeto de pesquisa inclui o estudo da substituição do método manual de operação de um sistema de ar condicionado de conforto, por um sistema que não exija a interferência humana como principal instrumento no processo.

O estudo da automatização do sistema de refrigeração será voltado a um edifício de um Órgão Público na cidade de Porto Velho, no Estado de Rondônia. Neste local, encontram-se várias salas e um auditório, distribuídos em oito pavimentos.

Além disso, em cada pavimento encontra-se uma casa de máquinas contendo dois equipamentos de refrigeração do tipo *Self Contained* (família de equipamento de refrigeração indicado para grandes ambientes a serem condicionados) em cada uma, com exceção do segundo pavimento, onde há duas casas de máquinas, sendo uma apenas para atender o auditório que se encontra nesse mesmo pavimento. Também, na cobertura está localizada a central de água de condensação (CAC), com uma torre de resfriamento e três bombas de condensação, sendo duas operantes e uma reserva. Estes também estão inclusos na pesquisa.

Para a refrigeração das salas do prédio, atualmente toda a operação das máquinas é feita de forma manual, tendo como principal ferramenta para o processo a disponibilidade de um operador que maneje os equipamentos diariamente, o que determina algumas problemáticas que posteriormente serão discutidas.

Nesse sentido, será estudado com a automação, o controle e o sensoriamento uma solução eficiente de exercer o controle do sistema pela utilização de um controlador lógico programável interligado a um supervisor.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Observando o processo de operação dos equipamentos de refrigeração é possível assinalar alguns pontos críticos em seu funcionamento e que se tornam significativos quando analisados mais a fundo conforme será detalhado a seguir.

O primeiro ponto analisado se dá pelo fato do processo de operação diária dos equipamentos dependerem exclusivamente da mão de obra humana como ferramenta. Para o ciclo diário de funcionamento das máquinas de refrigeração, o operador precisa seguir uma rotina, iniciando o ligamento primeiramente da CAC e, em seguida, passando em cada casa de máquinas dos pavimentos para ligar cada equipamento. Isso requer que o funcionário inicie sua

tarefa com certa antecedência do horário de funcionamento normal do prédio, para que desse modo, garanta que as salas estejam com a temperatura ideal quando começar o turno de trabalho.

Além disso, essa função exige que o operador esteja constantemente circulando pelas salas de máquinas para checar o funcionamento correto de cada equipamento, já que não há nenhum tipo de alarme quando qualquer um desses falhar.

Também, as visitas planejadas, com base em procedimentos de confiabilidade, são fundamentais na manutenção preventiva de cada máquina, mantendo, assim, a disponibilidade dos aparelhos.

Nesse sentido, é necessário que o operador esteja devidamente capacitado para assumir essa função, caso exista uma falha temporária ou uma parada total do instrumento.

A partir da análise dos problemas envolvidos e expostos anteriormente nessa operação atual do sistema de refrigeração, é possível levantar alguns questionamentos a respeito das falhas bem como das soluções de melhoramento desse projeto. De que maneira é possível reduzir as falhas no processo? E, nesse caso, como remanejar a mão de obra especializada, dos operadores, obtendo resultados satisfatórios? E ainda, dentro do escopo de automação e controle, qual seria a solução mais adequada a fim de aumentar a eficiência da operação completa do sistema de refrigeração de conforto?

Com o estudo da automatização e do desenvolvimento de uma lógica de programação, utilizando a linguagem de diagrama de blocos, o sistema de conforto do Órgão Público, na cidade de Porto Velho, apresentará maior eficiência. E, conseqüentemente, o remanejamento das tarefas do operador acarretará no aumento da produtividade do mesmo, já que este poderá contribuir de forma dinâmica no seu e em outros setores.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Propor a automatização de um sistema de refrigeração de conforto que atualmente é operado de forma exclusivamente manual.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Têm-se como objetivos específicos, os seguintes:

- Levantar as características do sistema de ar condicionado instalado atualmente;
- Levantar as características do funcionamento do sistema atual de operação;
- Analisar a viabilidade técnica da automatização do sistema atual;
- Desenvolver a programação do controlador, utilizando a linguagem de diagramas de bloco, para que atenda a necessidade de operação diária;
- Desenvolver a automação do sistema de conforto.

1.5 JUSTIFICATIVA

Como mencionado anteriormente, a mão de obra utilizada na operação diária do sistema de conforto demanda uma rotina pré-programada, além de treinamento e experiência do colaborador. Isso tem como consequência a possibilidade de falhas, justamente por depender de forma exclusiva da disponibilidade e da desenvoltura do operador. Neste sentido é razoável a substituição da mão de obra humana, nos procedimentos diários de ligar e desligar os equipamentos, por um sistema automático, através de instrumentos controláveis integrados ao sistema de supervisão.

Analisando a rotina atual de operação, percebe-se uma grande dificuldade na percepção de falhas ou parada dos equipamentos, uma vez que o operador necessita circular continuamente pelas casas de máquinas. Caso contrário, somente saberá da parada de uma máquina se receber queixas de desconforto em algum ambiente condicionado.

Sendo assim, com a automatização do sistema não será necessário que o operador esteja continuamente verificando o funcionamento de cada aparelho, já que o novo sistema alertará se ocorrer falhas.

É de se destacar que os equipamentos de refrigeração instalados são modernos, possibilitando a integração dos mesmos em um sistema automação.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será composto por cinco capítulos.

O primeiro capítulo conterà a introdução, a delimitação do tema, os problemas e premissas, os objetivos, a justificativa e a introdução à metodologia de projeto do sistema de controle.

O segundo capítulo se remeterá à fundamentação teórica abordando o estudo dos componentes do sistema de refrigeração de conforto, de forma a destacar os equipamentos envolvidos nesse processo, contendo o detalhamento do local de operação.

O terceiro capítulo será feita uma análise das linguagens de programação utilizadas neste estudo. Além disso, este capítulo será composto pela determinação do sistema de automação. Após, será apresentado um estudo sobre o controlador lógico programável proposto nesse sistema específico de ar condicionado, bem como a definição das necessidades requeridas para a realização do projeto de automatização.

O quarto capítulo abordará efetivamente o projeto da automatização do processo de condicionamento, com o desenvolvimento da programação em Grafset e diagrama de blocos. Esse procedimento será realizado com o detalhamento das funções do PLC, alocação das funções de controle, além da determinação e localização dos sinais de entrada e saída.

Por fim, o quinto capítulo apresentará discussões sobre a análise técnica para a implementação do sistema de automação estudado, abordando as considerações finais obtidas através do desenvolvimento deste trabalho.

2 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE CONFORTO

Este capítulo abordará o estudo dos equipamentos do sistema de condicionamento de ar presentes no trabalho e a sua classificação quanto à forma de absorção de calor. Também, nele será apresentado com maior detalhe o local de operação estudado.

2.1 TIPOS DE SISTEMAS

Nos sistemas de expansão direta, o calor é absorvido pelo do gás refrigerante que passa pela serpentina. Ou seja, no compressor, o fluido refrigerante sob a forma de gás sofre compressão e, no condensador, em alta pressão e entalpia, cede calor para se condensar (TORREIRA, 2003).

Já nos sistemas indiretos, o calor é absorvido pela água fria que passa através das serpentinas do evaporador. Este sistema se difere do direto, por utilizar um meio suplementar de absorção de calor, isto é, há um pré-resfriamento antes de a água circular nas serpentinas (TORREIRA, 2003).

2.2 EQUIPAMENTOS

2.2.1 BOMBA CENTRÍFUGA

As bombas centrífugas são responsáveis por promover a circulação da água nos diversos trechos dos sistemas hidráulicos dos sistemas de bombeamento. Estes equipamentos são importantes para garantir que a água gelada, circulada pelas serpentinas dos evaporadores, cuja troca de calor já foi realizada, retorne até a Central de Água para que esta volte a ser refrigerada. Fechando, assim, um ciclo (CREDER, 1996). A Figura 1 apresenta o detalhe estrutural de uma bomba centrífuga.

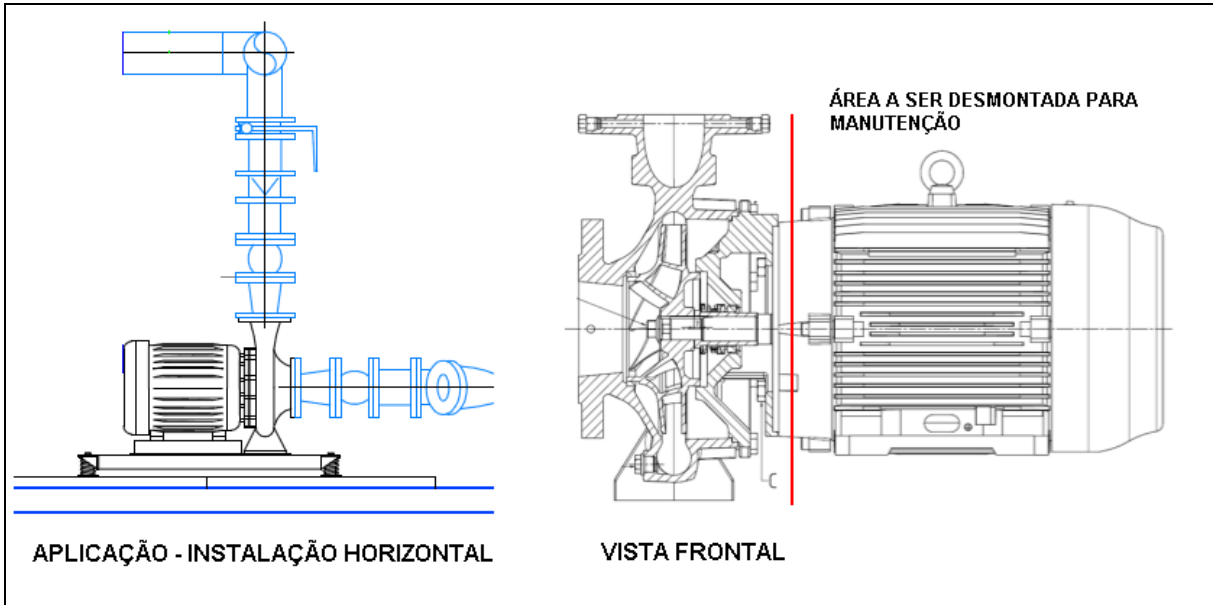


Figura 1 – Detalhe estrutural Bomba Centrífuga
Fonte: KSB (2014).

A bomba utilizada neste projeto é do tipo centrífuga monobloco de execução horizontal, com corpo espiral, de construção *back-pull-out*, ou seja, que permite desmontar o equipamento sem ter que desconectá-lo da tubulação. Esta classe de motobomba geralmente é aplicada em projetos de ar condicionado, serviços de refrigeração e abastecimento de água (KSB, 2014).

2.2.2 TORRE DE RESFRIAMENTO

A utilização de torre de resfriamento em um sistema de refrigeração caracteriza-o por um sistema que apresenta condensação por água. E, existem quatro tipos de torre de água: atmosféricas; de corrente de ar induzida; de corrente de ar forçada; de corrente cruzada. (TORREIRA, 2003).

Entretanto, para este estudo, o tipo de torre analisada é de corrente de ar induzida. Nesta classe de equipamento, para que a troca de calor seja melhor aproveitada, a torre usualmente é instalada na cobertura de um prédio e, depende do funcionamento de ventiladores, acionados por motores, instalados na parte superior da mesma. Na Figura 2, é possível observar a forma construtiva desse tipo de equipamento. Nesta torre, a entrada de ar é feita pelas laterais e o ventilador, na parte superior, é responsável pela retirada do ar quente de dentro da

bacia, uma vez que nesta bandeja é acumulada a água de retorno do sistema, a qual já realizou a troca de calor.

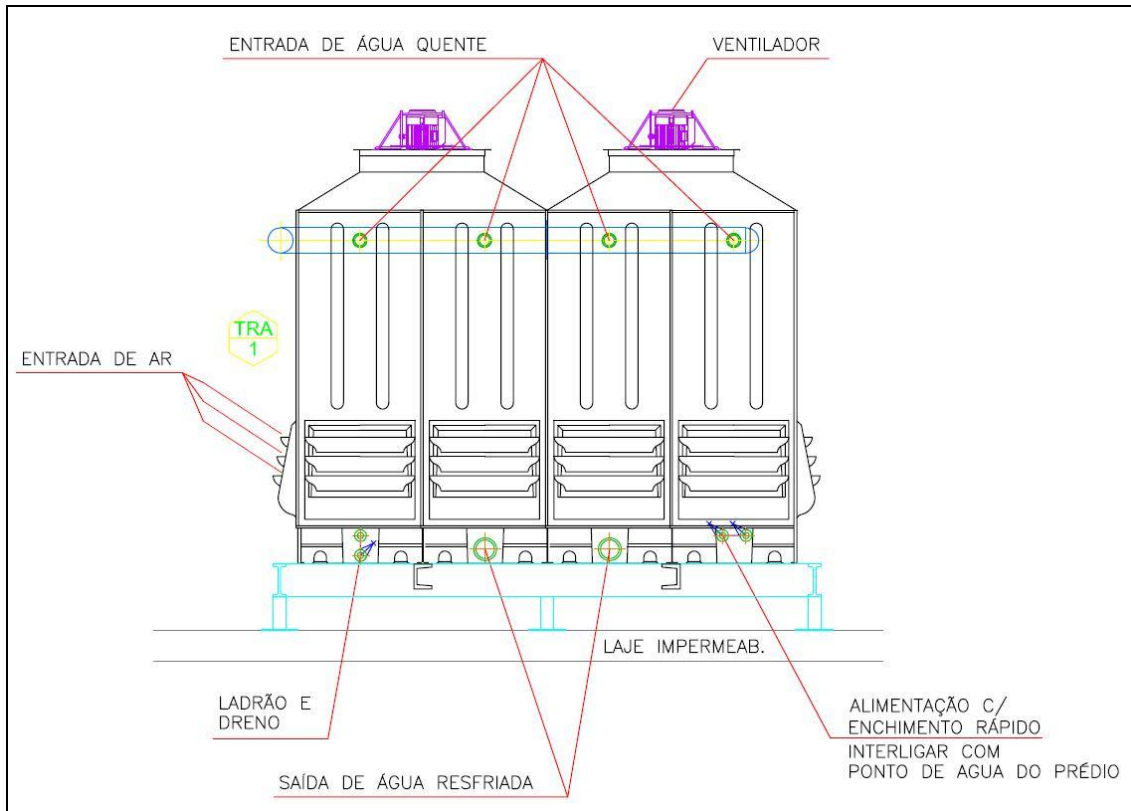


Figura 2 – Detalhe estrutural Torre de Resfriamento

Fonte: Autoria própria

2.2.3 CONDICIONADOR DE AR TIPO *SELF CONTAINED*

A família *Self Contained* de equipamentos condicionadores de ar tem aplicações domésticas, comerciais e industriais. Estes aparelhos são projetados para instalações com insuflamento de ar utilizando dutos. Esses equipamentos podem ter de um a três compressores, sendo que em cada circuito há um condensador a ar ou a água, um evaporador, um compressor, um filtro secador, um visor de líquido, uma válvula de expansão, um distribuidor de líquido, válvulas de serviço e pressostatos de alta e baixa (YORK, 2014). A Figura 3 ilustra estruturalmente o *Self Contained*.

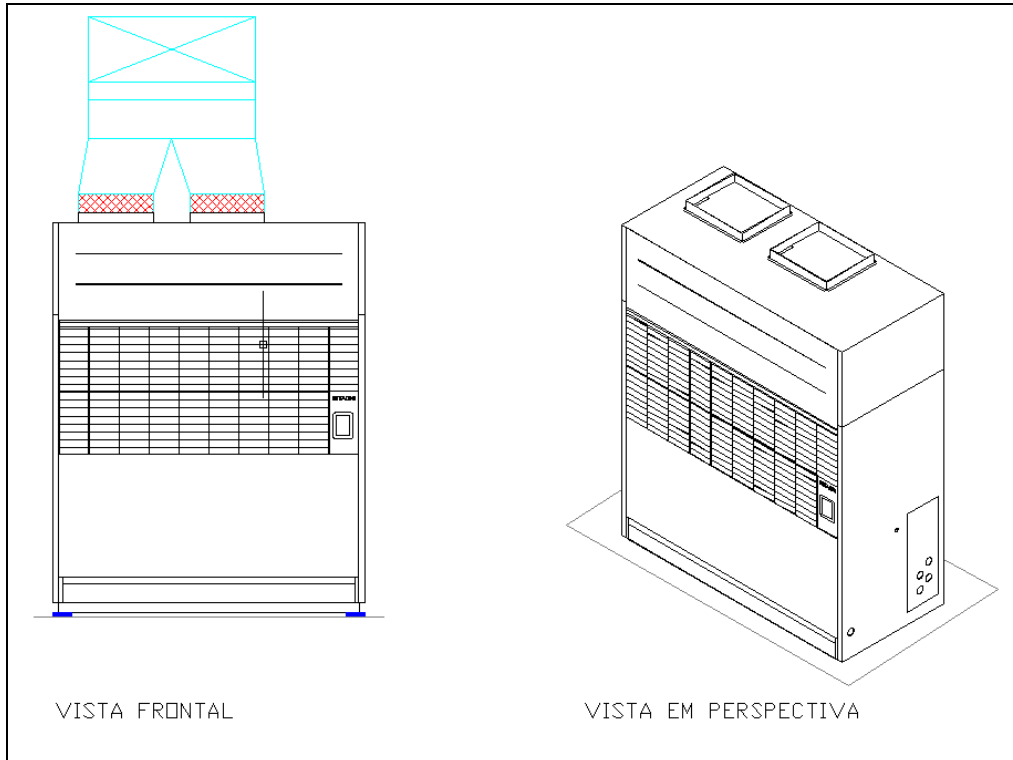


Figura 3 – Detalhe estrutural *Self Contained*
Fonte: Hitachi (2014).

Os aparelhos *Self Contained* instalados nas casas de máquinas do prédio estudado tem capacidade de refrigeração de 15 Toneladas de refrigeração (TR) e possuem condensador a água, com dois circuitos. Além disso, o ventilador do evaporador é do tipo centrífugo, com dupla aspiração e com pás voltadas para frente.

2.2.4 ACESSÓRIOS

Além dos equipamentos principais de ar condicionado, os acessórios de medição e periféricos são peças necessárias para o funcionamento correto do sistema de refrigeração de conforto. Exemplos destes acessórios são os pressostatos, termostatos e sensores de temperatura.

Os pressostatos são interruptores elétricos comandados pela pressão e são ajustados através de um parafuso. No pressostato diferencial de pressão é possível fazer regulagem distinguindo a pressão de desarme e a de rearme, sendo este último automático ou manual.

Este acessório é classificado em pressostato de baixa pressão, pressostato de alta pressão, pressostato de alta e baixa e pressostato diferencial. Nesta instalação, os diferenciais de pressão serão utilizados como periféricos do sistema de automação.

Já os termostatos são indicadores da variação de temperatura, executando a abertura ou fechamento de contatos elétricos, sendo de relés ou contatores. O elemento de medição de temperatura do termostato o classifica: bimetálico, bulbo sensor de temperatura e resistência elétrica (SULAMERICANA ENGENHARIA, 2014).

2.3 DESCRIÇÕES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE CONFORMO

Conforme mencionado no Capítulo anterior, o sistema de condicionamento de ar, tema deste estudo, é composto por vinte equipamentos do tipo *Self Contained*, além de três Bombas de Água de Condensação (BAC) e uma Torre de Resfriamento de Água (TRA). Destes, a torre de resfriamento de água e as bombas de água de condensação (sendo uma reserva) compõem a Central de Água de Condensação (CAC) e estão instalados na cobertura. Já, os condicionadores de ar tipo *Self* estão instalados nas Casas de Máquinas nos pavimentos.

Em cada casa de máquina, nos pavimentos, estão instalados dois condicionadores de ar, além de um Painel Elétrico de Força e um Painel de Automação, sendo que estes atendem dois equipamentos.

Os condicionadores de ar são interligados nas redes de dutos e nas redes de água de condensação e a distribuição do insuflamento do ar refrigerado e retorno de ar nas áreas é realizada através de dutos e nas casas de máquinas. Além disso, a distribuição de água para as casas de máquinas é realizada através de tubulações de aço, locadas no *shaft* que interligam as áreas. O controle de temperatura para os ambientes é realizado através de sensores locados no equipamento.

Na cobertura estão instalados os equipamentos que compõe a CAC, conforme ilustra a Figura 4.

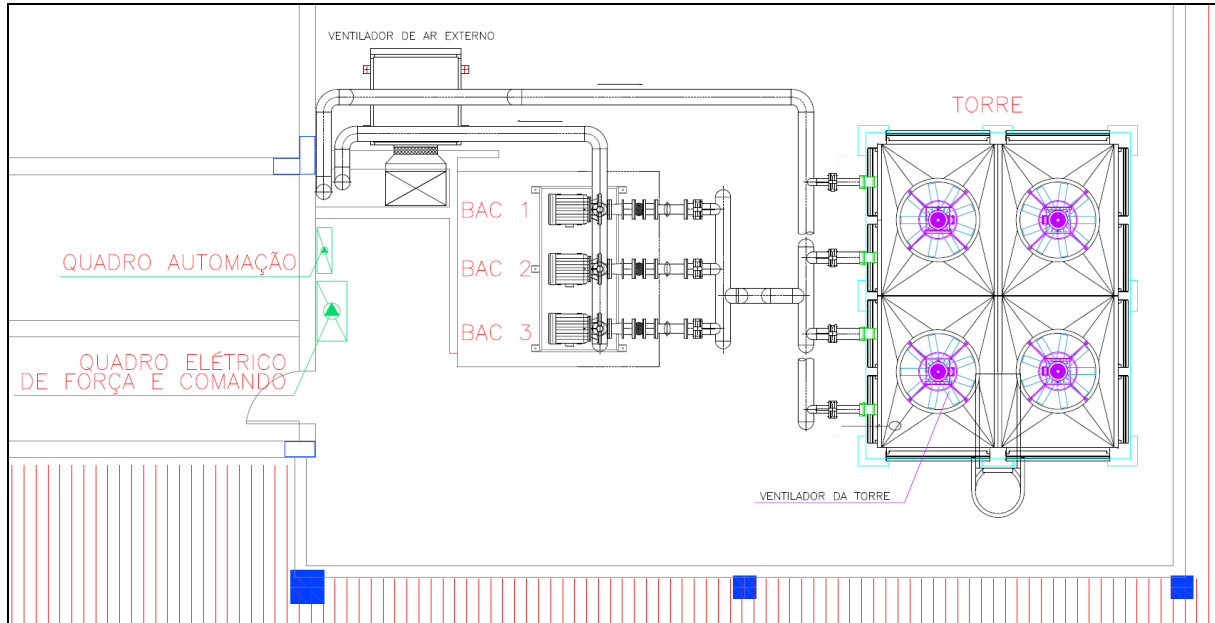


Figura 4 – Layout da instalação dos equipamentos na Cobertura
Fonte: Sulamericana Engenharia (2014).

Além dos equipamentos instalados na cobertura, também estão instalados o painel elétrico de força e comando e o quadro de automação.

3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O terceiro capítulo apresentará as linguagens de programação utilizadas neste estudo, além de um estudo do controlador lógico analisado.

3.1 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

De acordo com Silveira (1998) é por meio das diferentes linguagens de programação que o programador transmite à unidade de processamento central transmite os comandos que devem ser seguidos, podendo ser através de controle por relés, parâmetros idiomáticos e blocos funcionais.

O Diagrama de Blocos de Função (FDB - *Function Block Diagram*) é uma linguagem de programação do tipo gráfica. Esta linguagem apresenta grande semelhança com os circuitos eletrônicos, uma vez que seu comportamento é descrito através do fluxo de sinais entre os elementos do diagrama. Os elementos da linguagem FBD são interconectados por linhas de fluxo, ou seja, no lado esquerdo do bloco são conectados os sinais de entradas, enquanto no lado direito, os sinais de saída do bloco.

A linguagem em Gráfico Funcional de Comandos Etapa-Transição ou GRAFCET é a solução para programas que exijam ações de comandos sequenciais ou que dependem do tempo. Ainda, segundo Silveira (2008), o GRAFCET foi obtido através do resultado de técnicas como fluxogramas, diagramas de variáveis de estado, redes de Petri e diagrama trajeto-passo, que tentaram dispor uma metodologia de programação para alguns problemas que as linguagens tradicionais não contemplavam.

Para Pires (2002), o GRAFCET é um conjunto de etapas ou estados que correspondem a ações, onde as transições dessas etapas são determinadas por condições lógicas e os elementos que as ligam conferem orientação à lógica.

3.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL ESTUDADO

O controlador lógico programável utilizado na instalação estudada será da fabricante Johnson Controls, modelo FX16 *Master Controller*, da linha *Facility Explorer*. A Figura 5 apresenta o aparelho.

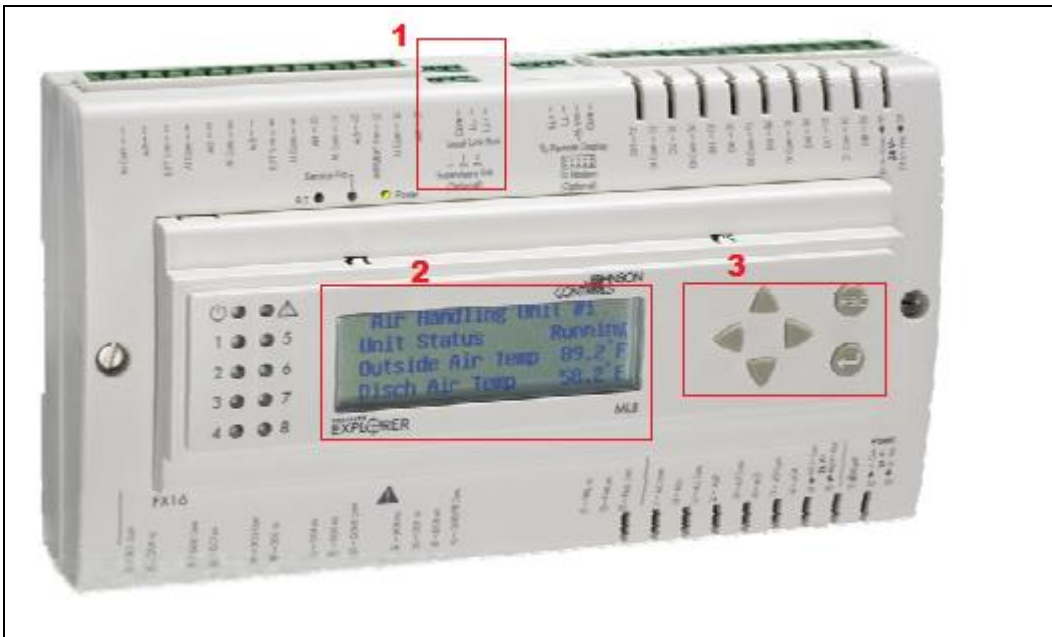


Figura 5 – Controlador lógico programável FX16 Master Controller
Fonte: Johnson Controls (2014).

A área número 1, da Figura 5, destaca no controlador o borne onde é ligado o cabo de comunicação de rede. Este cabo deve ser do tipo *shieldado* com malha aluminizada e dreno, de bitola entre 0,75mm² e 1,5 mm². A região de número 2 mostra o *display* de cristal líquido de quatro linhas e vinte caracteres. Esta *interface* apresenta parâmetros como temperatura, data, hora, *status*, entre outros. E, a região número 3 exhibe os seis botões utilizados para selecionar e “navegar” entre as opções apresentadas no *display*.

Esta classe de PLC é utilizada para sistemas de ar condicionado, aquecimento, e aplicações de refrigeração em geral, tais como chillers, condicionadores de ar, unidades de tratamento de ar, entre outros. Os detalhes genéricos da estrutura do equipamento são mostrados pela Figura 6.

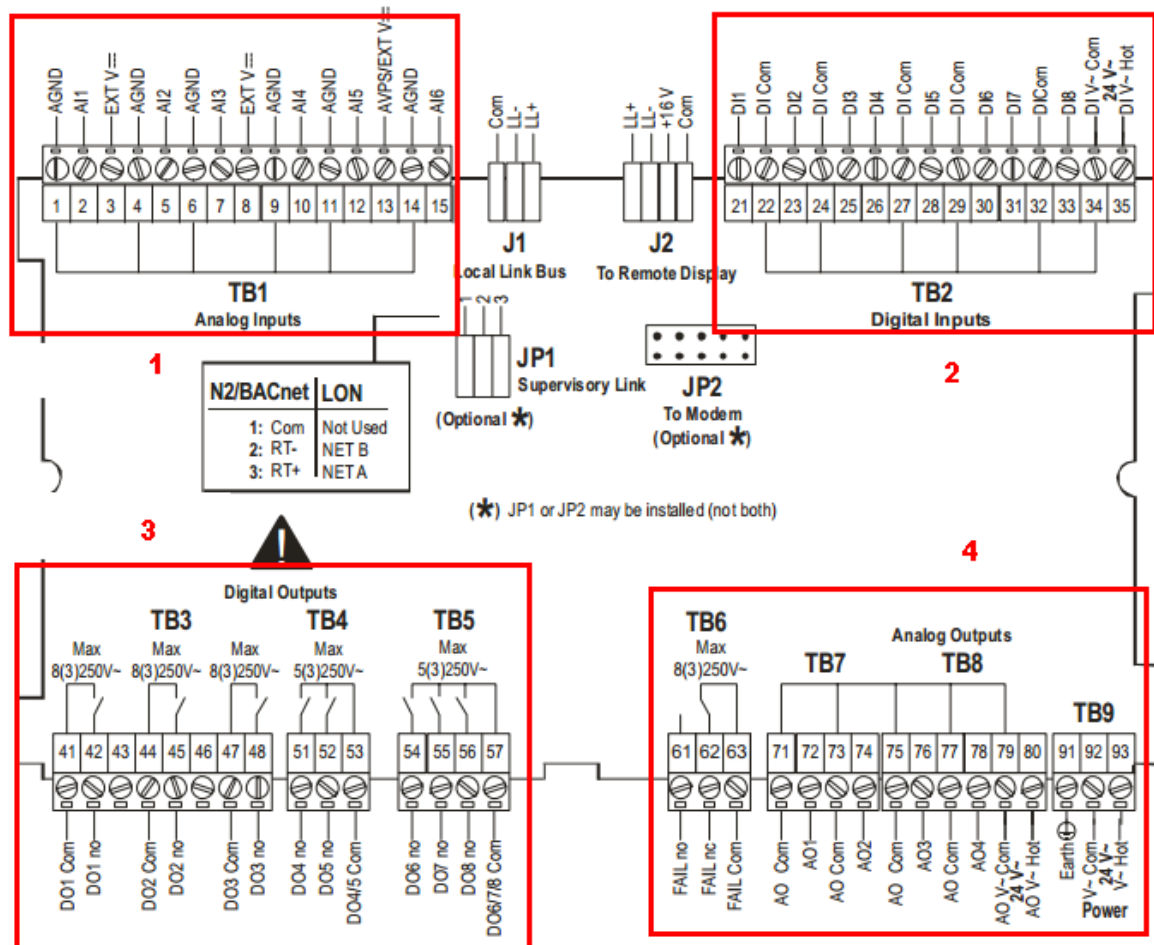


Figura 6 – Detalhes do FX16 Master Controller
Fonte: Johnson Controls (2014).

O controlador possui um total de 27 entradas e saídas físicas. A Figura 6 apresenta na região 1 as seis entradas analógicas (AIs); na região 2 as oito entradas digitais (DIs); na área 3 as nove saídas digitais (DOs); e na 4 as quatro saídas analógicas (AOS).

Também, é possível ampliar o número de entradas e saídas físicas, utilizando módulos de expansão.

Além das aplicações em stand alone, sem utilizar um sistema gerenciador, este controlador também possui serviços para transmitir mensagens de notificação de eventos via *Short Messaging Service* (SMS) ou e-mail. Também, usando cartões de comunicação é possível que o controlador se integre com as redes de automação predial N2 Open, LONWORKS®, ou BACnet®.

A fabricante dispõe de softwares da linha *FX Tools* para programação e comissionamento das lógicas elaboradas.

Para o desenvolvimento da lógica de programação para o sistema de ar condicionado estudado, fez-se o uso do *software FX Builder*. A interface gráfica deste *software* é ilustrada na Figura 7.

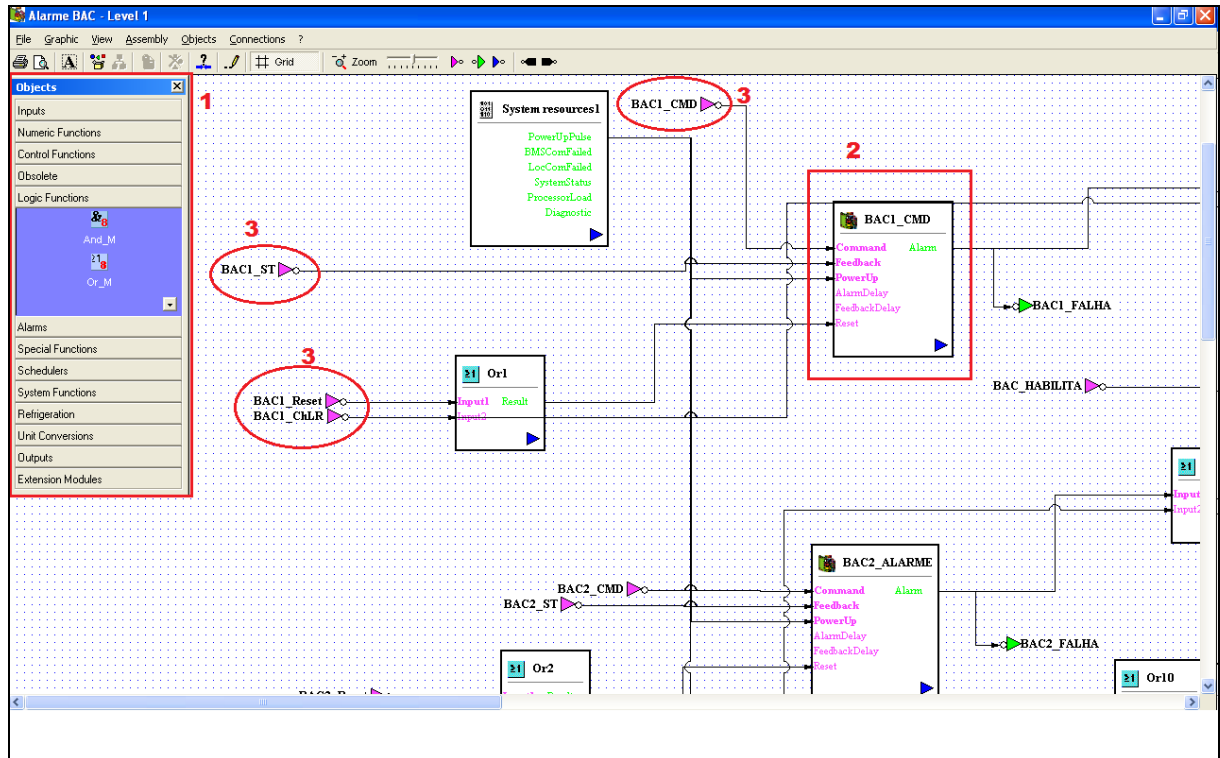


Figura 7 – Interface do Software FX Builder
Fonte: Johnson Controls (2014).

A região de número 1 apresenta a biblioteca de blocos de diversas funções. Em destaque nesta figura estão os blocos *AND* e *OR*, do bloco de funções lógicas. Na área de número 2, o bloco de comando de uma das bombas de condensação está sendo exposto junto com seus parâmetros de entrada. Estes últimos estão sendo representados pelas regiões de número 3.

Este programa faz as configurações das entradas e saídas, dos pontos de dados a serem monitorados, usando menus e uma biblioteca padrão contendo os diferentes tipos de blocos de funções.

O software FX CommPro N2 / LON / BACnet é uma ferramenta para realização do comissionamento da lógica de programação, sendo possível a configuração de parâmetros, o controle de sequencias e ajuste de ciclos.

4 PROGRAMAÇÃO

Neste capítulo serão abordadas as etapas do projeto e desenvolvimento dos *softwares* de controle implementados nos PLCs, a lógica das funções de controle e projeto do sistema de controle.

Para elaboração da lógica de programação, utilizou-se a programação pelas técnicas de Gráfico Funcional de Comandos Etapa-Transição, GRAFCET, e a partir deste, foi efetuado o Diagrama de Blocos de Função (FDB).

Primeiramente será elaborada a esquematização de um diagrama funcional destacando os equipamentos de detecção e dispositivos de realização do controle envolvidos no sistema. Deste modo, será possível identificar as variáveis de entrada e saída. Depois será apresentada a lógica através das técnicas do GRAFCET e, por fim, em Diagrama de Blocos.

4.1 DIAGRAMA FUNCIONAL DO SISTEMA

Inicialmente, a Figura 8 apresenta o diagrama esquemático dos pontos de entrada e saída do controlador lógico instalado para atender a Central de Água de Condensação.

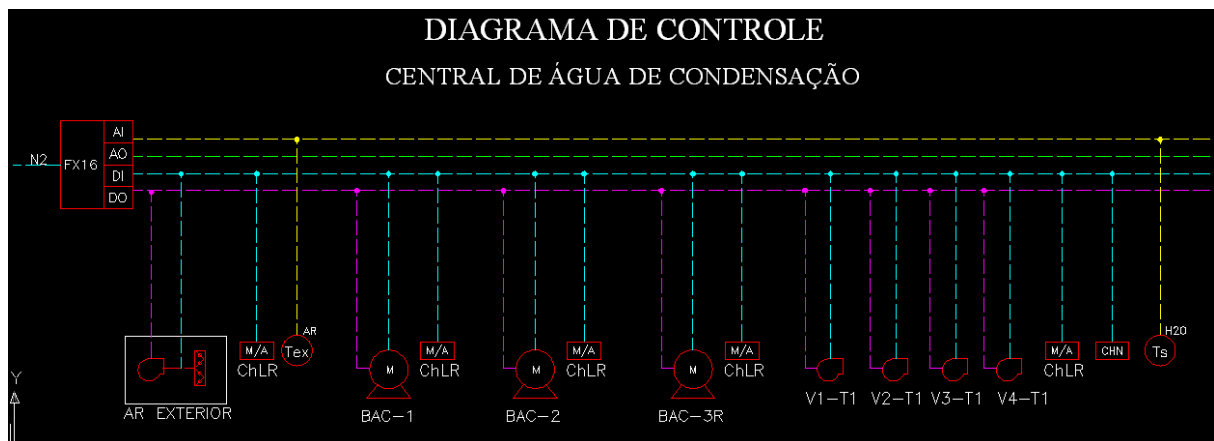


Figura 8 – Diagrama de pontos de controle da CAC
Fonte: Autoria própria.

É importante destacar os pontos de controle considerados para cada equipamento da CAC, conforme mostra a Figura 8:

- *Status* da chave de três posições ChLR (manual / desligado / automático);
- *Status* de funcionamento;

- Comando do motor.

Além disso, utilizaram-se dois sensores de temperatura, sendo um para instalação na saída da água da Torre (Ts) e o outro na saída do ar externo (Tex). Também, uma chave de nível (CHN) foi considerada na bacia da torre, a qual habilitará o início do processo. E, para gerar o *status* de funcionamento dos motores, usaram-se relés de corrente. O Quadro 1 apresenta a lista dos pontos do controlador da CAC.

SISTEMA DE CONTROLE E SUPERVISÃO PREDIAL															
PLANILHA DE PONTOS - Quadro QC-CAC-11															
END. CONTROLADOR	TIPO CONTROLADOR	SISTEMA	PAINEL	EQUIPAMENTO	NOME DO PONTO	DESCRIÇÃO	TIPO DE PONTO	ENDEREÇO		BORNE CONTROLADOR		BORNE PAINEL DE AUTOMAÇÃO		BORNE CAMPO	PERIFÉRICO (MODELO)
								+	-	+	-	+	-		
11	FX16	AR CONDICIONADO	QC-AC-11	CAC	CAC.TeSaTras	Temperatura Saída da Torres	AI	1	2	1	X2.1	X2.2	+	-	Sensor de Temperatura + poço
				CAC	CAC.TeArExterno	Temperatura do Ar Externo	AI	2	5	4	X2.3	X2.4	+	-	Sensor de Temperatura
				CAC	CAC.NvBx	Nível Baixo de Condensação	DI	1	21	22	X3.1	X3.2	NA	C	Chave de Nível
				BAC	BAC1.ST	Status BAC1	DI	2	23	24	X3.3	X3.4			Relé de corrente
				BAC	BAC2.ST	Status BAC2	DI	3	25	27	X3.5	X3.6			Relé de corrente
				BAC	BAC3.ST	Status BAC3	DI	4	26	27	X3.7	X3.8			Relé de corrente
				BAC	BAC1.ChLR	Status Chave Local Remoto	DI	5	28	29	X3.9	X3.10			Contato seco
				BAC	BAC2.ChLR	Status Chave Local Remoto	DI	6	30	32	X3.11	X3.12			Contato seco
				BAC	BAC3.ChLR	Status Chave Local Remoto	DI	7	31	32	X3.13	X3.14			Contato seco
				TRA	TRA1Ve1.ST	Status Torre 1 Ventilador 1	DI	8	33	32	X3.15	X3.16			Relé de corrente
				BAC	BAC1.CMD	Comando da Bomba	DO	1	42	41	X5.2	X5.1			
				BAC	BAC2.CMD	Comando da Bomba	DO	2	45	44	X5.4	X5.3			
				BAC	BAC3.CMD	Comando da Bomba	DO	3	48	47	X5.6	X5.5			
				TRA	TRA1Ve1.Cmd	Comando da Ventilador	DO	4	51	53	X5.8	X5.7			
				TRA	TRA1Ve2.Cmd	Comando da Ventilador	DO	5	52	53	X5.10	X5.9			
				TRA	TRA1Ve3.Cmd	Comando da Ventilador	DO	6	54	57	X5.12	X5.11			
				TRA	TRA1Ve4.Cmd	Comando da Ventilador	DO	7	55	57	X5.14	X5.13			
				VE	VEArEx.Cmd	Comando da Ventilador	DO	8	56	57	X5.16	X5.15			
3	XP9105	QC-CAC	TRA	TRA1Ve2.ST	Status Torre 1 Ventilador 2	DI	1	DI1	C	X3.17	X3.18			Relé de corrente	
			TRA	TRA1Ve3.ST	Status Torre 1 Ventilador 3	DI	2	DI2	C	X3.19	X3.20			Relé de corrente	
			TRA	TRA1Ve4.ST	Status Torre 1 Ventilador 4	DI	3	DI3	C	X3.21	X3.22			Relé de corrente	
			TRA	TRA1.ChLR	Status Chave Local Remoto	DI	4	DI4	C	X3.23	X3.24			Contato seco	
			VE	VEArEx.ST	Status Ventilador Ar Externo	DI	5	DI5	C	X3.25	X3.26			Relé de corrente	
			VE	VEArEx.ChLr	Status Chave Local Remoto	DI	6	DI6	C	X3.27	X3.28			Contato seco	

Quadro 1 – Lista de Ponto CAC

Fonte: Autoria própria.

De maneira semelhante à CAC, os pontos de controle considerados para cada equipamento *Self* foram os *status* de funcionamento do motor do ventilador usando relé de corrente, *status* da chave três posições, *status* dos dois compressores do *Self*, comando do motor do ventilador, temperatura de insuflamento e de retorno, através dois sensores de temperatura para instalação em duto. A Figura 9 mostra o diagrama esquemático dos pontos de entrada e saída do controlador de uma casa de máquina.

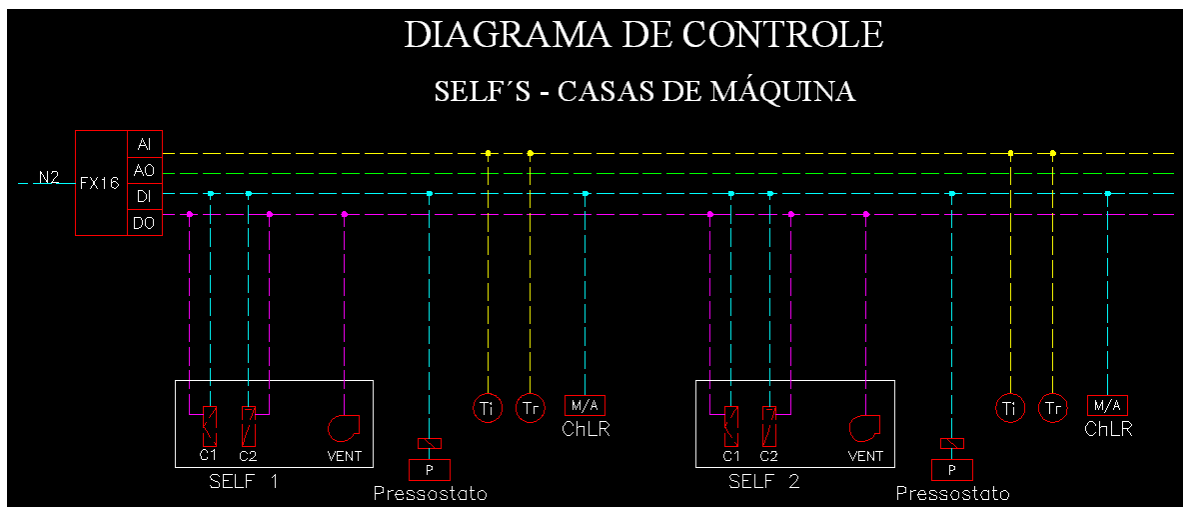


Figura 9 – Diagrama de pontos de controle das casas de máquinas

Fonte: Autoria própria.

Como todas as casas de máquinas possuem dois equipamentos *SelFs* e estes são atendidos por um único controlador, a lógica da programação é a mesma em todos os pavimentos. Nesta lógica também há, para cada equipamento, sensores de temperatura, um para o ar de insuflamento (Ti) e outro para o ar de retorno (Tr). Além disso, tem um pressostato diferencial (P) para habilitar o funcionamento dos compressores do condicionador.

A lista de pontos de controle referente aos equipamentos da casa de máquina é mostrada no Quadro 2.

SISTEMA DE CONTROLE E SUPERVISÃO PREDIAL																		
PLANILHA DE PONTOS - Quadro QC-AC-10																		
END. CONTROLADOR	TIPO CONTROLADOR	SISTEMA	PAINEL	EQUIPAMENTO	NOME DO PONTO	DESCRIÇÃO	TIPO DE PONTO	ENDEREÇO	BORNE CONTROLADOR		BORNE PAINEL DE AUTOMAÇÃO		BORNE CAMPO		PERIFÉRICO (MODELO)	RANGE DE OPERAÇÃO/SINAL (APLICÁVEL PARA SINAIS ANALÓGICOS)		
									+	-	+	-	+	-				
10	FX16	AR CONDICIONADO	QC-AC-10	8P01	8P01.TeRet	Temperatura de Retorno	AI	1	2	1	X2.1	X2.2	+	-	Sensor de Temperatura	1k Ohm / -46 a 104°C		
				8P02	8P02.TeRet	Temperatura de Retorno	AI	2	5	4	X2.3	X2.4	+	-	Sensor de Temperatura	1k Ohm / -46 a 104°C		
				8P01	8P01.TeIns	Temperatura de Insuflação	AI	3	7	6	X2.5	X2.6					Sensor de Temperatura	1k Ohm / -46 a 104°C
				8P02	8P02.TeIns	Temperatura de Insuflação	AI	4	10	9	X2.7	X2.8					Sensor de Temperatura	1k Ohm / -46 a 104°C
				8P01	8P01.Comp1.St	Status Compressor 1	DI	1	21	22	X3.2	X3.1	NA	C			Relé de corrente	N/A
				8P01	8P01.Comp2.St	Status Compressor 2	DI	2	23	24	X3.4	X3.3					Relé de corrente	
				8P01	8P01.ChLr	Chave Local Remoto	DI	3	25	27	X3.8	X3.5						
				8P01	8P01.Ve.St	Status Ventilador	DI	4	26	27	X3.7	X3.6					Pressostato diferencial	
				8P02	8P02.Comp1.St	Status Compressor 1	DI	5	28	29	X3.8	X3.9					Contato seco	
				8P02	8P02.Comp2.St	Status Compressor 2	DI	6	30	32	X3.10	X3.11					Contato seco	
				8P02	8P02.ChLr	Chave Local Remoto	DI	7	31	32	X3.13	X3.14						
				8P02	8P02.Ve.St	Status Ventilador	DI	8	33	32	X3.11	X3.10					Pressostato diferencial	
				8P01	8P01.Comp1.Cmd	Comando Compressor 1	DO	1	42	41	X5.2	X5.1						N/A
				8P01	8P01.Comp2.Cmd	Comando Compressor 2	DO	2	45	44	X5.4	X5.3						
				8P01	8P01.Ve.Cmd	Comando Ventilador	DO	3	48	47	X5.6	X5.5						
				8P02	8P02.Comp1.Cmd	Comando Compressor 1	DO	4	51	53	R1-14	R1-11						
				8P02	8P02.Comp2.Cmd	Comando Compressor 2	DO	5	52	53	R2-14	R2-11						
				8P02	8P02.Ve.Cmd	Comando Ventilador	DO	6	54	57	R3-14	R3-11						

Quadro 2 – Lista de Ponto da Casa de máquinas

Fonte: Autoria própria.

4.2 PROGRAMAÇÃO EM GRAFCET

Por questões de limitação de espaço no corpo deste trabalho, optou-se por colocar no texto um fluxograma simplificado da programação do PLC em GRAFCET, não detalhando todos os processos envolvidos no programa. A versão do fluxograma na íntegra está no Anexo 1, onde demonstra detalhadamente todos os processos do fluxograma.

A Figura 10 apresenta o princípio da programação lógica em GRAFCET.

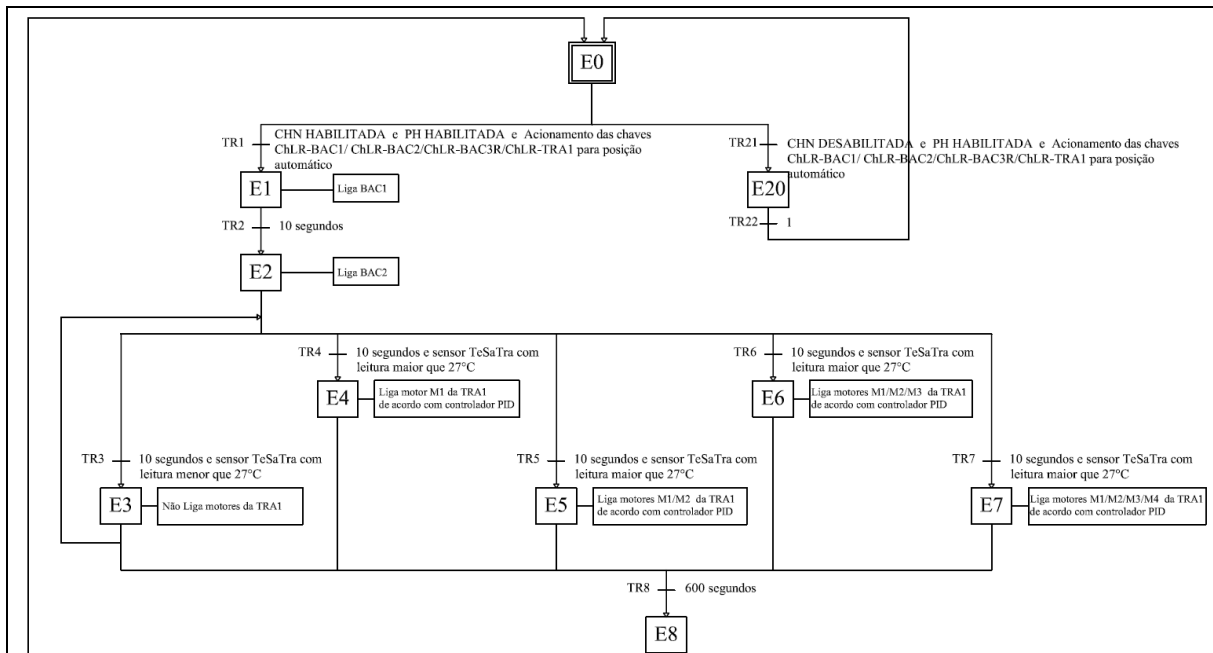


Figura 10 –Programação em GRAFCET - CAC
Fonte: Autoria própria.

Conforme a Figura 10 exibe, o início das Etapas ocorre nos equipamentos da CAC e a Ação 1, de ligar a bomba de condensação BAC1, ocorre a partir da Transição 1. Ou seja, o primeiro equipamento da CAC inicia seu funcionamento a partir da pré-condição dos sinais da Chave de Nível (CHN) estar habilitada, da programação horária (PH) estar habilitada e que as chaves três posições manual/desligado/automático (ChLR) das bombas estejam na posição automático. A partir disso, a BAC1 ligará, após dez segundos a BAC2 entrará em funcionamento. Na sequência, os motores dos ventiladores da Torre (TRA1) serão ligados com intervalo de tempo na partida através da ação de um controlador PID. Ou seja, à medida que forem necessários, os motores irão iniciar o processo, tendo a possibilidade de entrar apenas um ou dois, ou três, todos eles ou, ainda, nenhum, caso as pré-condição não for atendida. Esta rotina caracteriza a partida dos equipamentos da Central de Água de Condensação.

A Figura 11 apresenta a continuação da programação em GRAFCET, porém para as Casas de Máquinas do *Self Contained*.

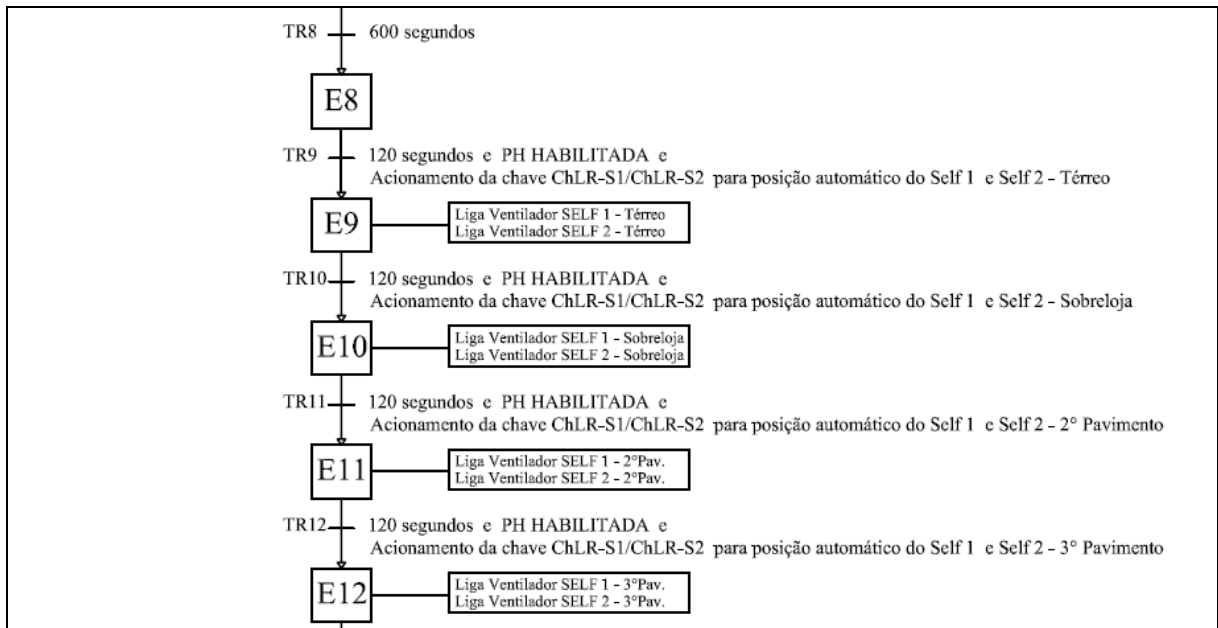


Figura 11 –Programação em GRAFCET – Casas de máquinas

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 11 é detalhada a lógica em GRAFCET das Casas de máquinas. Após um intervalo de seiscentos segundos da partida de todos os equipamentos da CAC, os condicionadores de ar dos pavimentos iniciam seu funcionamento. Entretanto, ocorre um intervalo de cento e vinte segundos na partida entre uma casa de máquina e outra. Além disso, tem-se como pré-condição de partida, a programação horária habilitada e a posição em automático das chaves três posições de cada *Self*.

No Apêndice 1, a programação lógica em GRAFCET será apresentada de forma completa.

4.3 PROGRAMAÇÃO EM DIAGRAMA DE BLOCOS DA CENTRAL DE ÁGUA DE CONDENSAÇÃO

A programação da lógica da Central de Água de Condensação, desenvolvida em Diagrama de Blocos, será apresentada conforme as telas gráficas disponibilizadas pelo *software FX Builder*.

A Figura 12 apresenta a tela inicial de nível 0 da programação. Nesta tela são mostrados todos os pontos a serem visualizados e controlados em uma tela gráfica de um futuro sistema supervisão.

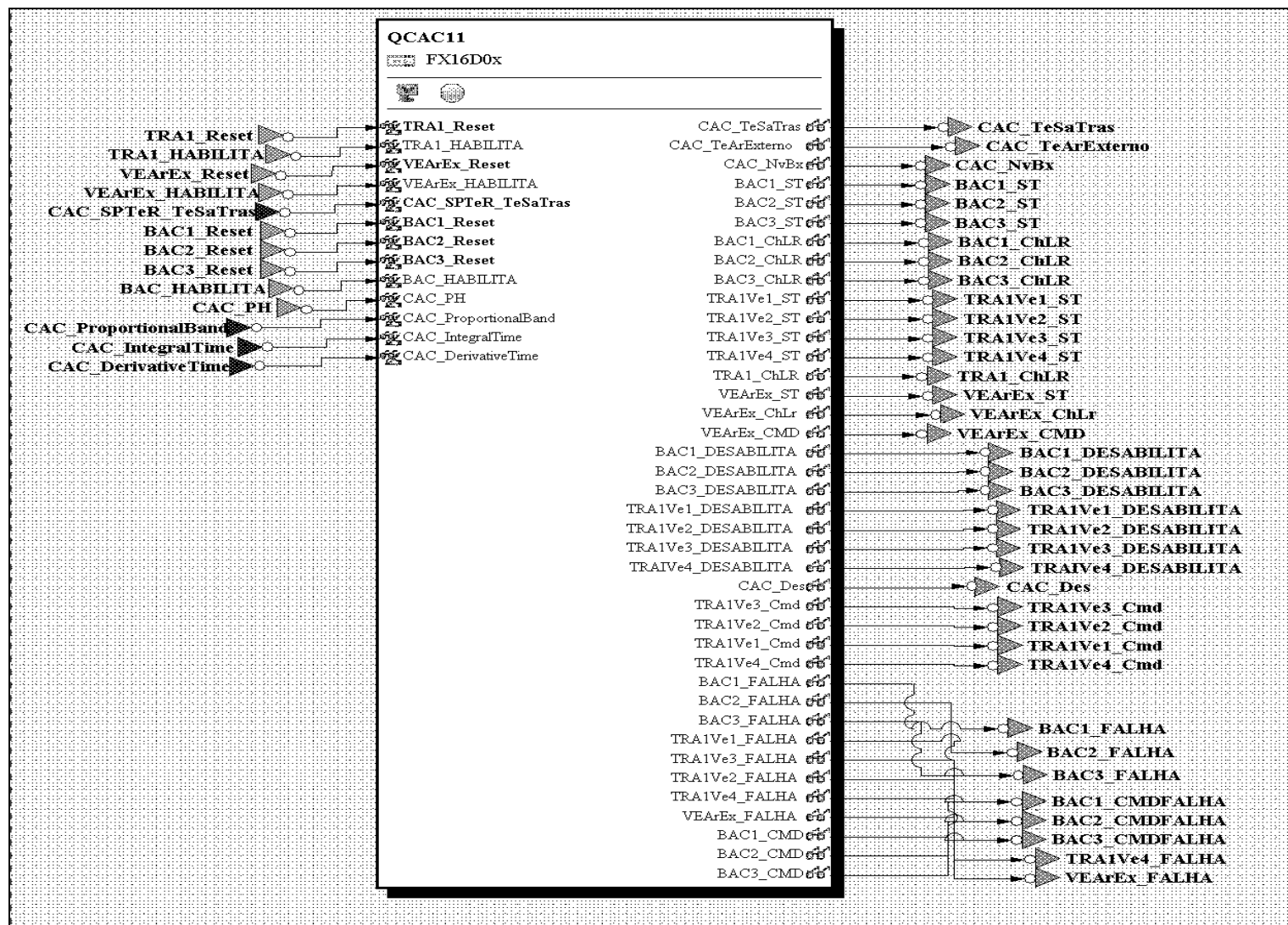


Figura 12 – Tela inicial (nível 0) da lógica da CAC

Fonte: Autoria própria.

A ilustração dos óculos mostra a possibilidade desse controle e visualização em um sistema de supervisão.

Neste caso, também por questões da limitação de espaço no corpo deste trabalho, mostrou-se no texto apenas um fluxograma simplificado com dimensões reduzidas da tela macro da lógica da CAC, de acordo com a Figura 13.

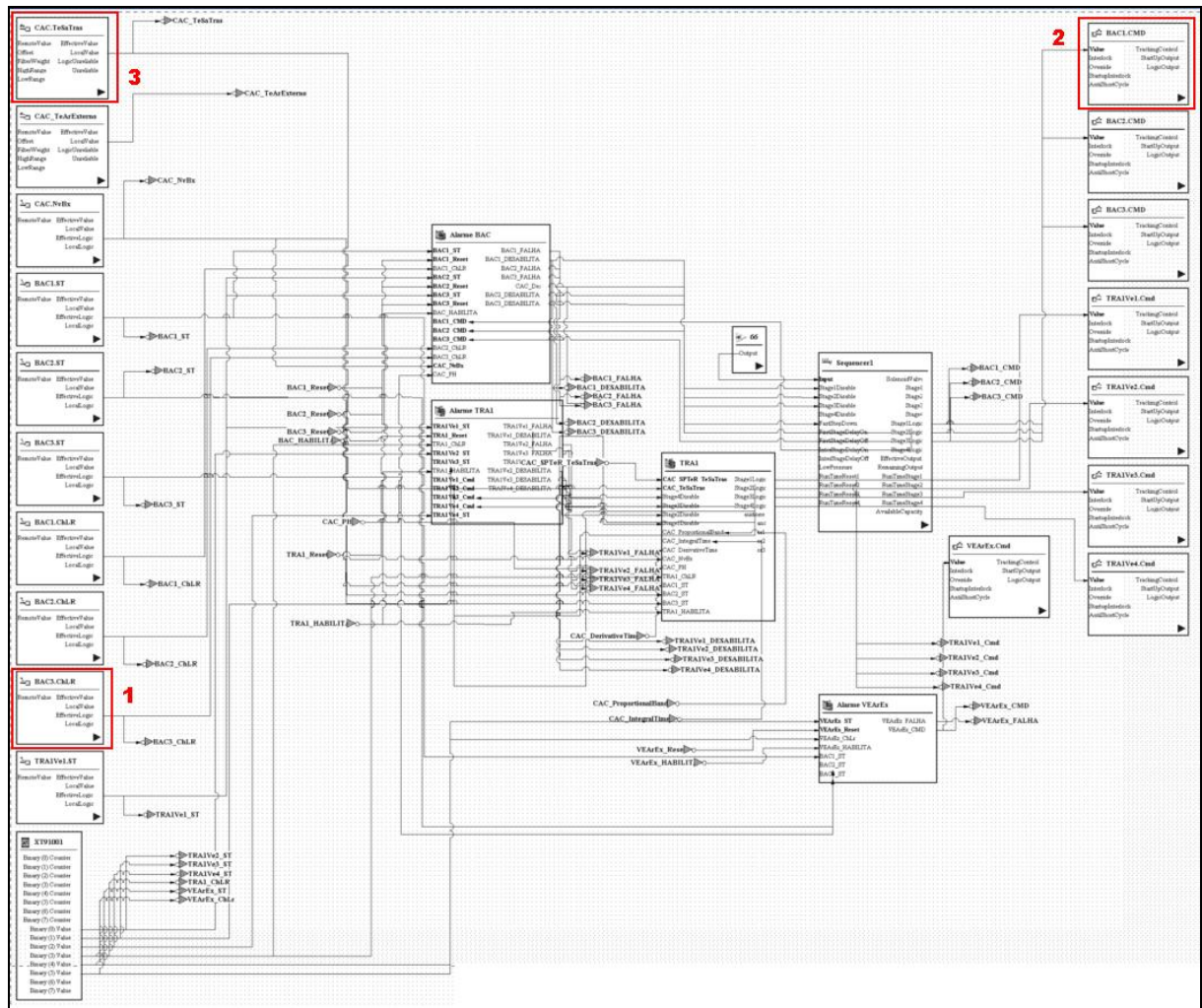


Figura 13 – Tela macro (nível 1) da lógica da CAC

Fonte: Autoria própria.

A tela macro (nível 1) contém todos os blocos do pontos físicos do controlador (entradas e saídas). A área 1, por exemplo, ilustra o status da chave três posições da BAC 3. Já na região de número 2 é representado o bloco de comando dos motores da BAC1. E, por fim, a região de número 3, ilustra o bloco do sensor de temperatura da água de saída da Torre. Além desses pontos físicos, neste nível 1 há também os blocos de alarmes das bombas de condensação e da Torre. Ao clicar duas vezes consecutivas em cima de um destes blocos de alarme, abrirá um

terceira tela de nível 2. A Figura 14 apresenta detalhes da tela de nível 2 de alarme geral da torre de resfriamento.

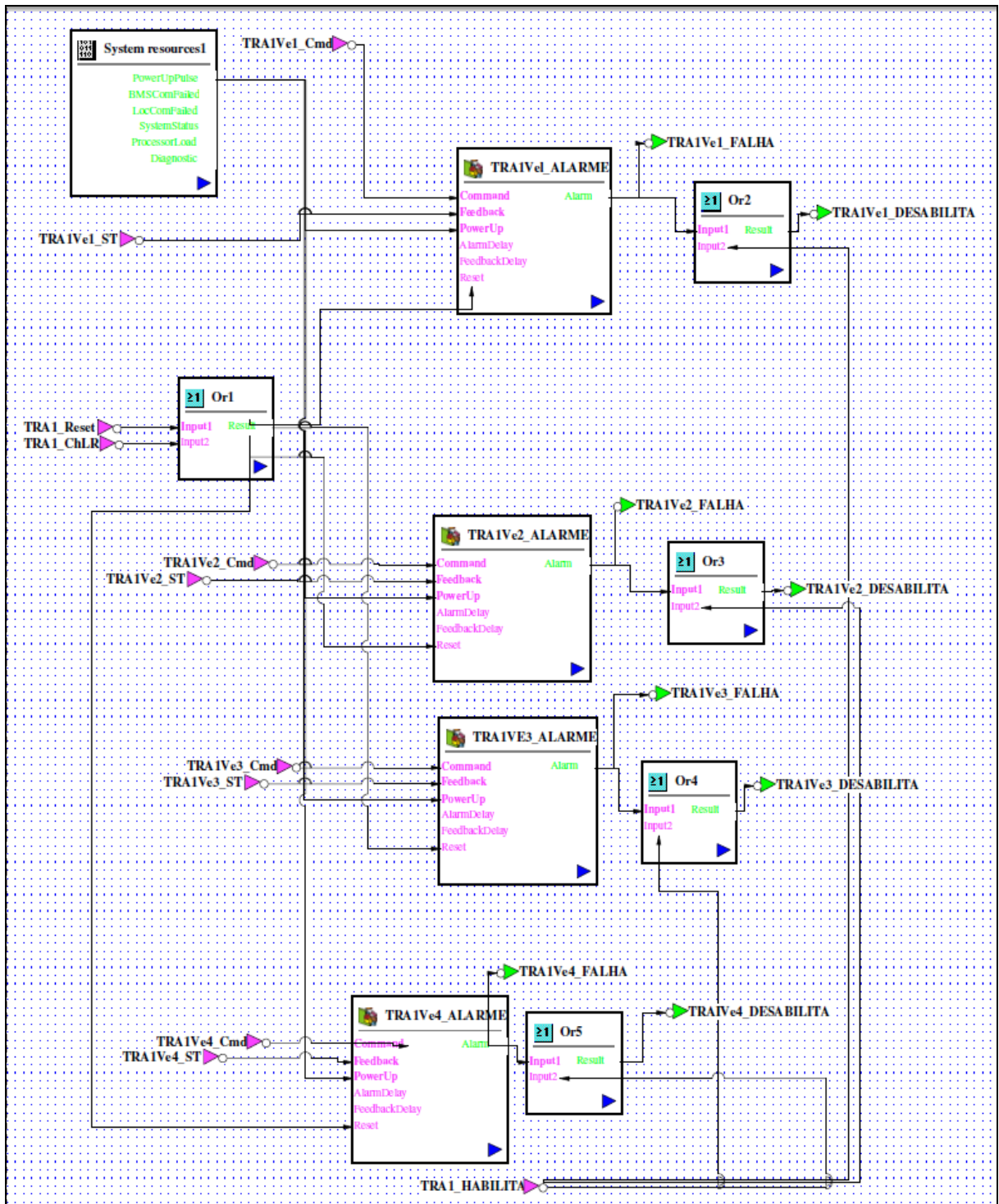


Figura 14 – Tela alarme da torre de resfriamento (nível 2)

Fonte: Autoria própria.

Ainda, ao selecionar um bloco de um dos quatro ventiladores da torre, abrirá um quarta e última tela de nível 3, conforme a Figura 15 ilustra. A mesma sequência de telas ocorre para as bombas de condensação.

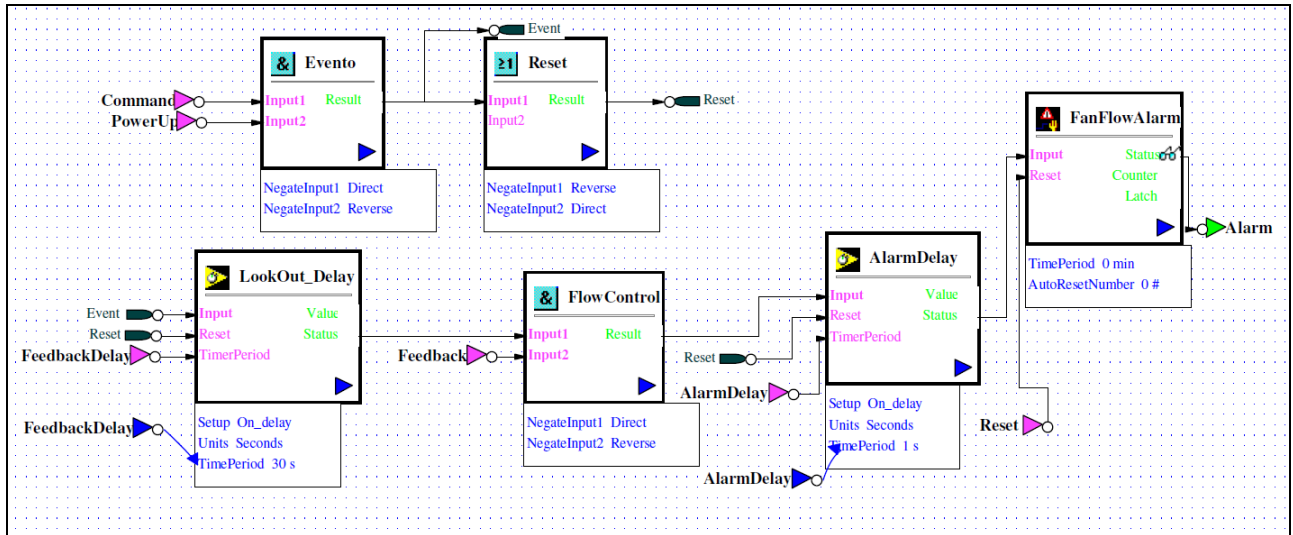


Figura 15 – Tela alarme de um dos ventiladores da torre (nível 3)

Fonte: Autoria própria.

Ainda na Figura 15, é possível observar os parâmetros de cada bloco. Todos os blocos de funções possuem seus parâmetros que são ajustáveis para a situação desejada.

4.4 PROGRAMAÇÃO EM DIAGRAMA DE BLOCOS DA CASA DE MÁQUINAS

Assim como foi exposta a lógica de programação através de Diagramas de Bloco da CAC, também será apresentada a programação da casa de máquinas do *Selfs*. A Figura 16 apresenta a tela inicial de nível 0 dessa programação.

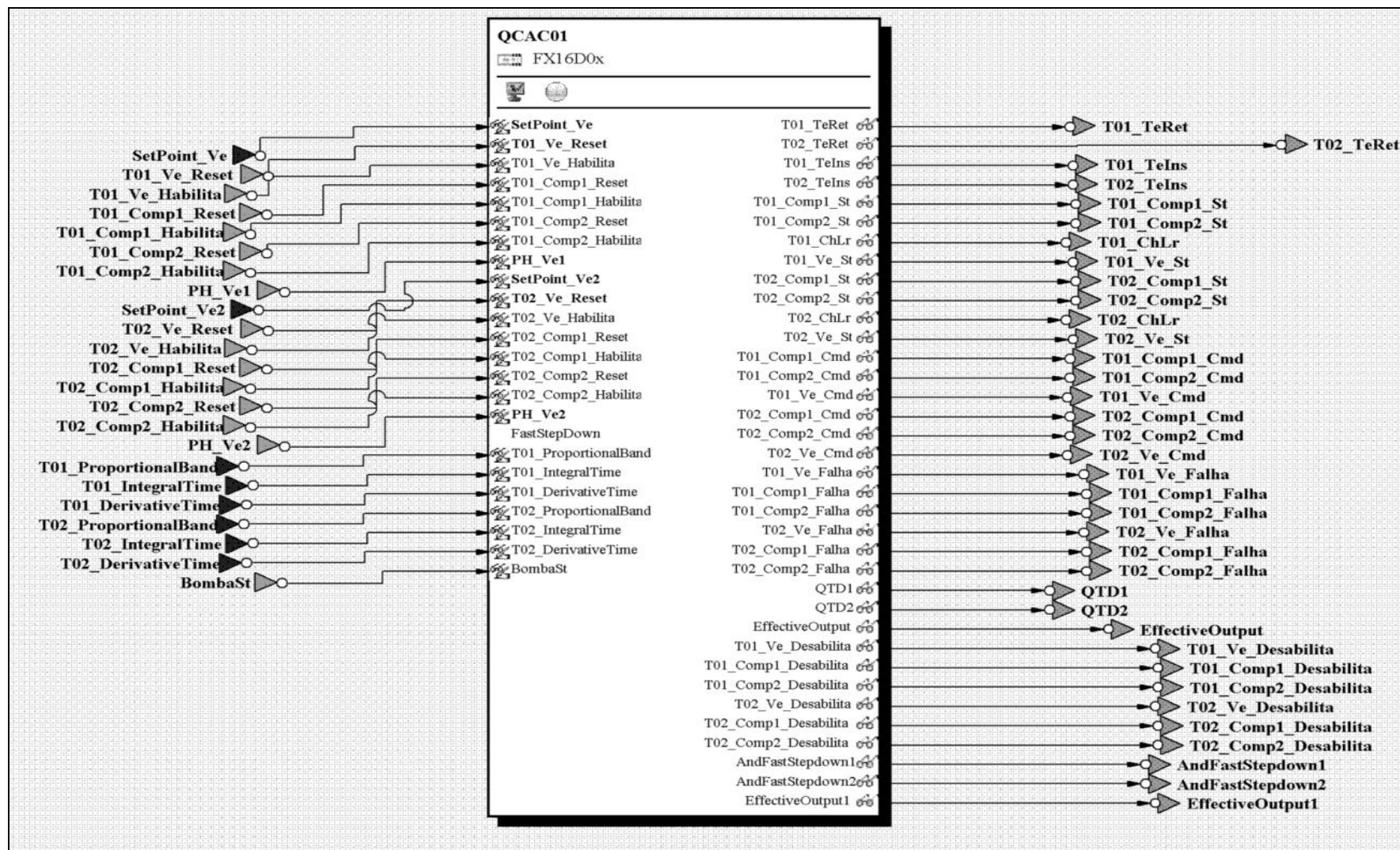


Figura 16 – Tela inicial (nível 0) da lógica da casa de máquinas

Fonte: Autoria própria.

lustra esta tela geral do ventilador de um Condicionador de ar e da função PID, aplicada no funcionamento dos compressores.

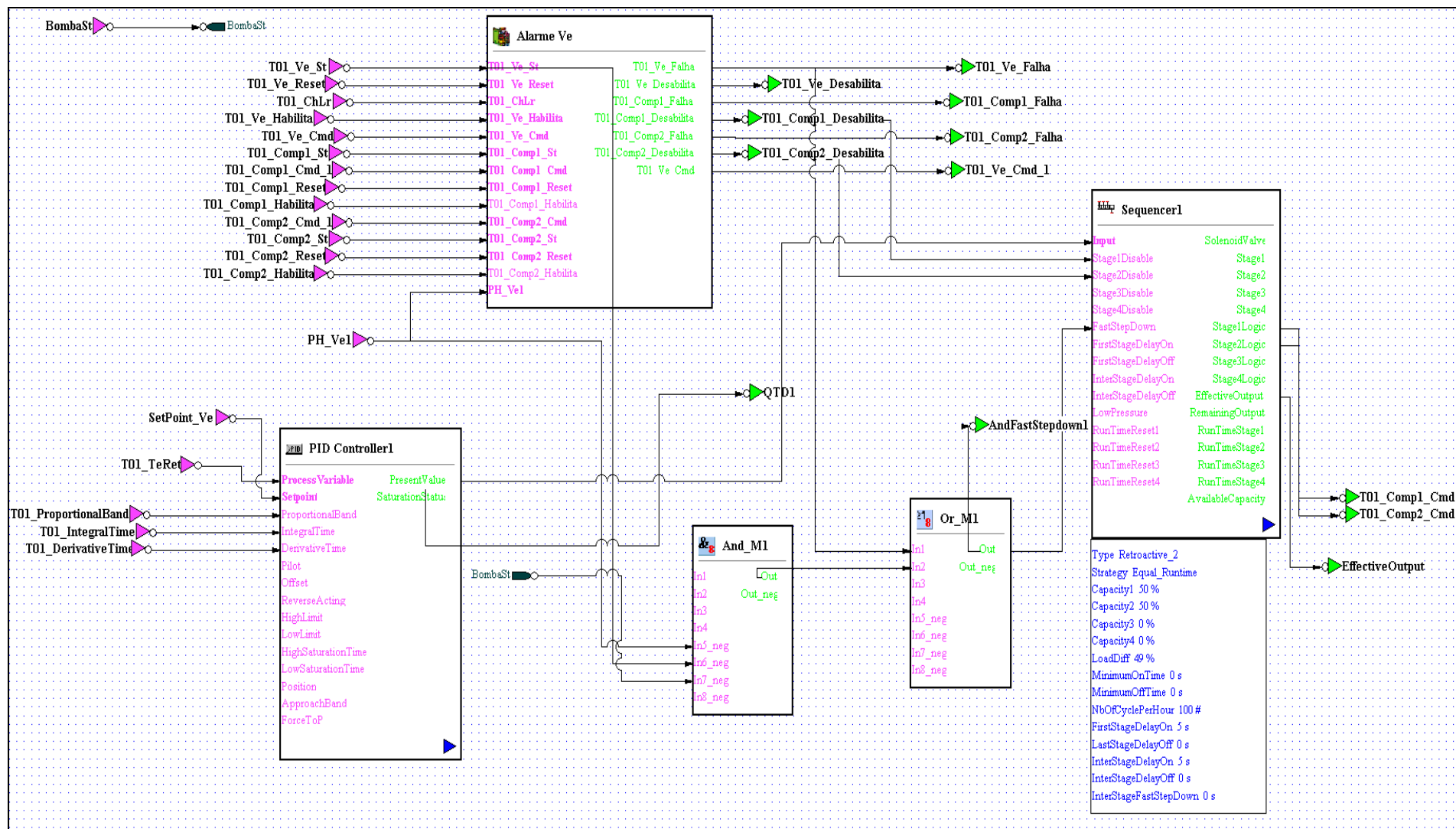


Figura 18 – Tela do ventilador (nível 2)

Fonte: Autoria própria.

Ainda, ao selecionar o bloco do alarme do ventilador, abrirá um quarta tela de nível 3, conforme a Figura 19 elucidada.

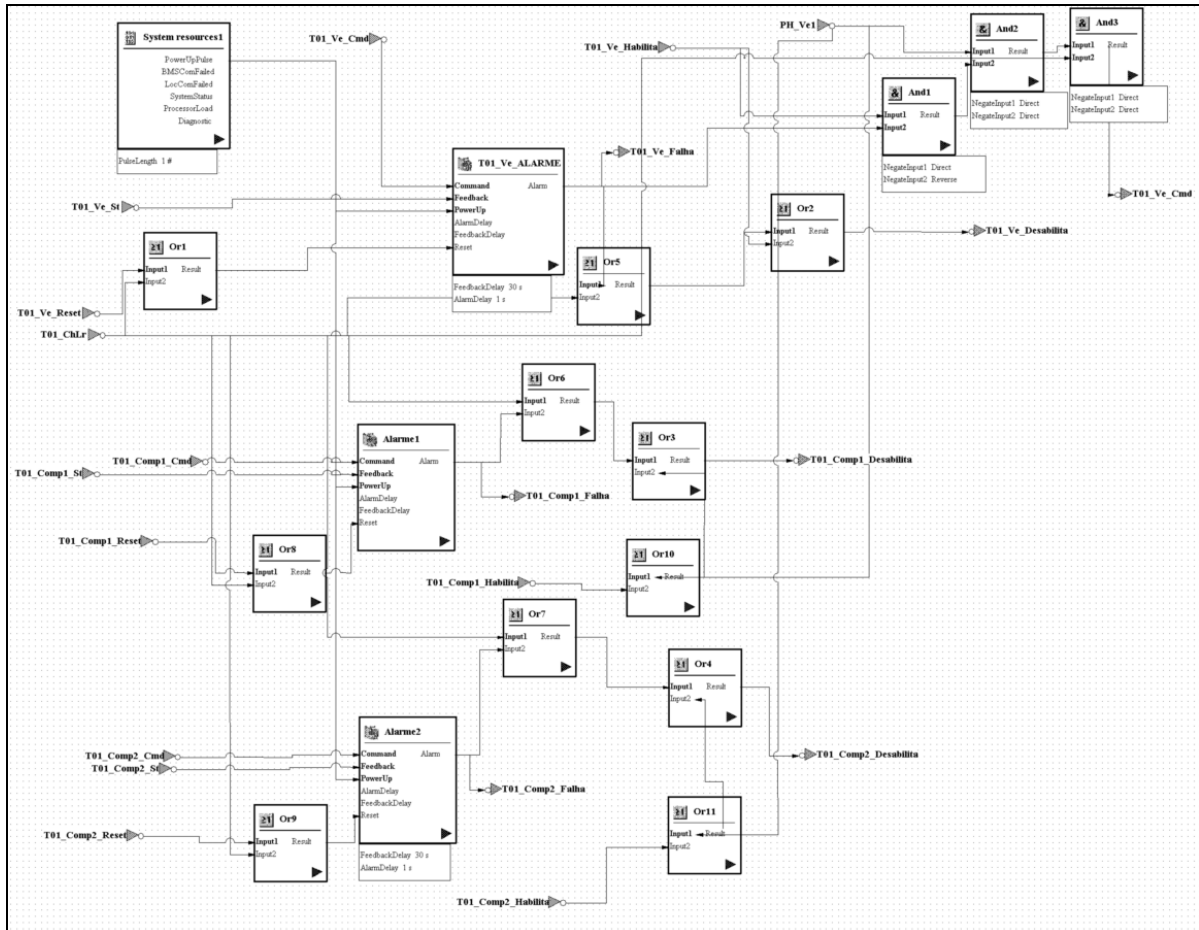


Figura 19 – Tela de alarmes do Self (nível 3)
Fonte: Autoria própria.

Por fim, ao selecionar o bloco de alarme do ventilador ou de qualquer um dos compressores, abrirá o quinto e último nível das telas, conforme Figura 20.

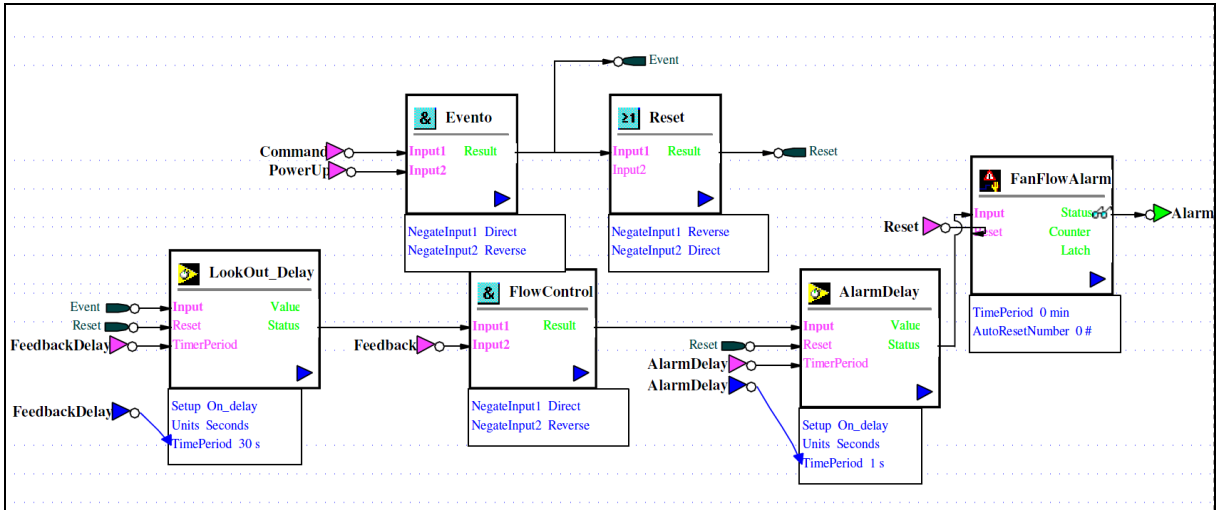


Figura 20– Tela de alarme do ventilador (nível 4)
Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho foi desenvolvido um projeto para implantação de um sistema de automação em uma planta de refrigeração de conforto. A partir do projeto dos equipamentos já instalados, foi possível elaborar uma proposta de projeto de automatização, através da programação em GRAFCET e Diagrama de Blocos.

Sob o ponto de vista técnico, esta proposta teve a premissa de reduzir as falhas na operação exclusivamente manual do sistema de refrigeração, já que, por meio da automação o alarme de falhas e o *feedback* de funcionamento dos equipamentos ocorrerá de maneira imediata. E, nos casos de paradas inesperadas do sistema, a tomada de decisão e a execução dos reparos pelo operador serão precisas e rápidas.

Também, ao implantar esta ferramenta automatizada no processo, a rotina diária do operador será modificada, uma vez que não precisará ligar e desligar todos os equipamentos. Isto, conseqüentemente, refletirá no aumento da disponibilidade deste colaborador para contribuir em outros setores antes não atendidos por ele.

Ainda, dentro do escopo de automação e controle, esta solução aumentará a eficiência da operação completa dos equipamentos do sistema de refrigeração de conforto. E, neste ponto, este trabalho sugere estudos futuros e mais aprofundados na eficiência do processo, sendo através de sensoriamento e controle aperfeiçoados ou, por meio de um sistema de gerenciamento e supervisão aprimorados.

Assim, é possível concluir que o projeto de automatização do sistema de refrigeração do prédio Público, na cidade de Porto Velho- RO, apresentou resultados que de fato comprovam a sua viabilidade tanto do ponto de vista técnico-operacional da automatização do sistema, como também do ponto de vista econômico.

REFERÊNCIAS

CASTRUCCI, Plíneo L.; MORAES, Cícero C. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CREDER, Hélio. **Instalações de ar condicionado**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HITACHI. **Catálogo técnico - AutoCad**. Disponível em: < <http://www.hitachipb.com.br> >. Acesso em: 17 Set 2014.

JOHNSON CONTROLS. **Catálogo técnico – FX16 Master Controler**. Disponível em: < http://www.johnsoncontrols.co.uk/content/gb/en/products/building_efficiency/product_information/BMS-products/Electronic-Control-Devices/Facility-Explorer/FX16.html >. Acesso em: 20 Out 2014.

KSB BOMBAS HIDRÁULICAS SA. **Manual técnico - Bomba padronizada monobloco**. 2014. Disponível em: < <http://www.ksb.com.br> >. Acesso em: 17 Set 2014.

PIRES, J. N. **Automação industrial**. Lisboa: ETEP - Edições Técnicas Profissionais, 2002.

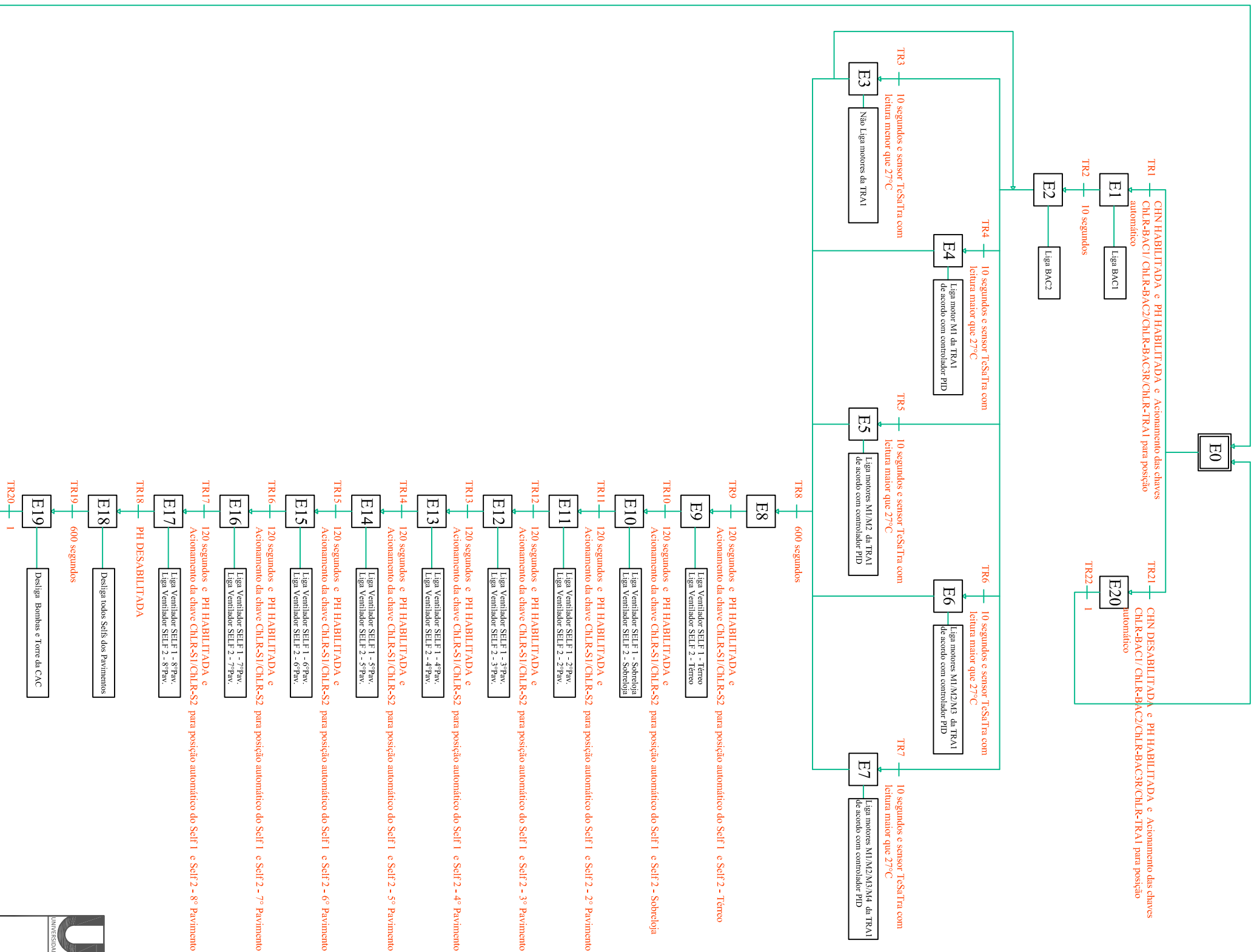
SILVEIRA, Paulo R.; SANTOS, Winderson E. **Automação e controle discreto**. São Paulo: Érica Ltda, 1998.

SULAMERICANA ENGENHARIA. **Acervo interno**. 2014.

TORREIRA, Raul Peragallo. **Elementos básicos de ar condicionado**. São Paulo: RPA, 2003.

YORK. **Manual de instalação, operação e manutenção Condicionador de Ar Central tipo Self Contained**. Disponível em : <http://www.johnsoncontrols.com.br/content/br/pt/products/building_efficiency/sistemas_hvac/split_system_para/self_contained_embassy.html> . Acesso em: 17 Out 2014.

APÊNDICE 1



GRAFQET

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	
MONOGRAFIA	
Descrição: ANEXO-1	
Autores:	JACQUELINE_BARRERA_MANOEL
Escalas:	S/E
Data:	28/11/2014
Folhas:	1/1