

Desenvolvimento de Rotinas de Teste de Fim de Linha de Refrigeradores – Smart Power Up

*Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para a aprovação na disciplina
DAS 5511: Projeto de Fim de Curso*

Murilo Araujo Moraes

Florianópolis, julho de 2013

Desenvolvimento de Rotinas de Teste de Fim de Linha de Refrigeradores – Smart Power Up

Murilo Araujo Moraes

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina
DAS5511: Projeto de Fim de Curso
e aprovada na sua forma final pelo
Curso de Engenharia de Controle e Automação

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira

Assinatura do Orientador

Banca Examinadora:

Eng. Rafael Marc Le Boudec
Orientador na Empresa

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira
Orientador no Curso

Prof. Rodolfo César Costa Flesch
Avaliador

Marco Aurélio
Philippe Azevedo
Debatedores

Agradecimentos

A minha mãe, por estar sempre do meu lado.

Meu pai por todo suporte.

Ao meu padrasto pela assistência doada.

O pessoal da Whirlpool pela paciência e dedicação.

Meus professores pelo conhecimento passado.

Meus amigos que me acompanharam nos piores e melhores momentos, compartilhando fortes emoções.

Resumo

A Whirlpool, maior indústria de eletrodomésticos do mundo, possui no Brasil um sistema de teste de fim de linha de refrigeradores ultrapassado, e com um potencial grande de melhoria com soluções simples e de baixo custo. Este trabalho foi desenvolvido visando melhorar esse processo, através da criação de novas rotinas de teste, que serão implementadas no *software* da placa de controle. Os requisitos do projeto foram obtidos através do mapa de raciocínio, reuniões de alinhamento com os envolvidos no projeto, e análise de gráficos e de dados de temperatura. Os resultados alcançados foram: melhor validação do compressor, melhor validação do *fan*, teste de inversão de sensores, teste de falha de sensores e validação do *damper* eletrônico.

Palavras-chave: teste fim de linha, refrigeradores, compressor, fan, damper eletrônico, sensores, seis sigma

Abstract

Whirlpool, the largest home appliance industry in the world, has in Brazil a very outdated test system, with a great potential for improvement using simple and low cost solutions. This work was developed to improve this process through the creation of new test routines, which will be implemented in the software of the control board. The project requirements were obtained from the map of reasoning, alignment meetings with those involved in the project, analysis of temperature graphics and temperature datas. The results achieved were: better validation of the compressor, fan better validation, sensors reverse testing, sensor fault testing and validation of the electronic damper.

Keywords: end of line test, refrigerator, compressor, fan, electronic damper, sensors, six sigma

Sumário

Agradecimentos.....	4
Resumo	5
Abstract	6
Sumário	7
Simbologia.....	10
Lista de Figuras	11
Lista de Tabelas	13
Capítulo 1: Introdução	14
1.1: Tema do projeto.....	14
1.2: Problemas a serem resolvidos.....	14
1.3: Objetivos deste trabalho	15
1.4: Motivação.....	16
1.5: Estrutura do trabalho	16
Capítulo 2: Whirlpool, Plataforma NEO Bottom Mount, Power Up	17
2.1: A empresa.....	17
2.1.1: A Whirlpool no Brasil.....	18
2.1.2: A estrutura de refrigeração.....	19
2.2: Plataforma NEO BOTTOM MOUNT	20
2.3: Teste de Fim de Linha atual – POWER UP	21
Capítulo 3: FMEA e Metodologia Seis Sigma.....	23
3.1: FMEA	23
3.2: Metodologia Seis Sigma	24
3.2.1: Mapa de raciocínio	26

3.2.2: DOE.....	26
Capítulo 4: Concepção do projeto	28
4.1: Fluxo de informação	28
4.2: Análise de oportunidades	29
4.2.1: Variação de temperatura no sensor (Δ Temperatura)	31
4.2.2: LabView.....	32
4.2.3: Aquisição de dados	32
4.2.4: Mapa do produto	33
4.3: Simulação em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$).....	35
4.3.1: DOE 1 – Análise do melhor posicionamento do <i>Heater</i> na sequência do SMART POWER UP.....	35
4.3.2: Teste com sensor de DF na saída do evaporador	36
4.3.3: DOE 2 – Validação da sequência estipulada	38
4.4: Simulação em câmara termodinâmica.....	40
4.4.1: Câmara Quente ($\pm 42^{\circ}\text{C}$)	41
4.4.2: Câmara Fria ($\pm 10^{\circ}\text{C}$)	42
4.5: Padrão de comportamento de temperatura	43
Capítulo 5: Desenvolvimento das Rotinas.....	45
5.1: Descrição do Módulo	45
5.2: Resumo do módulo.....	45
5.2.1: Descrição geral do princípio básico de operação.....	45
5.2.2: Ativação de cargas do SMART POWER UP	47
5.3: SMART POWER UP Malfunction Monitors (SPU MMs)	49
5.3.1: SPU MM Sensors Calibration (MM_SC_01).....	50
5.3.2: SPU MM Heater (MM_HS_01)	51
5.3.3: SPU MM Cooling (MM_CO_01)	52

5.3.4: SPU MM Sensors (MM_SEN_01)	52
5.3.5: SPU MM Fan	53
5.3.6: SPU MM DAMPER (MM_DAM_01).....	53
5.4: SMART POWER UP Fail Detector (SPU FD)	54
5.5: Fail Manager (FM).....	56
Capítulo 6: Conclusões e Perspectivas	57
6.1: Importância do trabalho e Próximos passos	57
6.2: Considerações finais.....	57
Bibliografia:.....	59

Simbologia

DF – defrost

RC – refrigerator

FC – freezer

LDAP – Laboratory for Development of Product Approval

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

DOE – Design of Experiments

Lista de Figuras

Figura 1. Equipamento AGRANKOW	15
Figura 2. Sede Administrativa - Whirlpool Joinville.....	20
Figura 3. Plataforma NEO Bottom Mount.....	21
Figura 4. Sequência do POWER UP	22
Figura 5. Metodologia PDSA	25
Figura 6. Versão Inicial do Mapa de Raciocínio	29
Figura 7. Gráfico de Pareto Futuro	30
Figura 8. Maiores problemas encontrados em campo	31
Figura 9. Estrutura de ativação de cargas.....	32
Figura 10. Aquisição de dados	33
Figura 11. Posicionamento dos termopares no refrigerador (desenho)	34
Figura 12. Refrigerador instrumentado (fotografia)	35
Figura 13. Árvore de teste para o DOE 1	36
Figura 14. Comportamento do sensor de defrost (DF) ao longo do tempo, posicionado na saída do evaporador	37
Figura 15. Árvore de testes para o DOE 2	38
Figura 16. Comportamento do sensor de DF na entrada do evaporador.....	39
Figura 17. Pouca variação de temperatura no sensor RC	40
Figura 18. LDAP - Câmara Termodinâmica	41
Figura 19. Controle de Temperatura - Temperatura 42°C.....	42
Figura 20. Teste realizado em câmara quente	42
Figura 21. Alguns testes realizados em câmara fria.....	43
Figura 22. Comportamento do sensor DF após o compressor desligar	44
Figura 23. Estrutura do SMART POWER UP	46

Figura 24. Exemplo de ativação de cargas durante o SMART POWER UP Hot Condition	48
Figura 25. Ativação de cargas durante o SMART POWER UP Cold Condition	49
Figura 26. Possíveis estados dos MALFUNCTION MONITORS (MMs).....	50
Figura 27. Ativação de cargas da plataforma NEO Bottom Mount pelos SPU MMs com o sensor de RC abaixo de MAX_SPU_HEATER_TEMP	54
Figura 28. Comportamento do SMART POWER FD (exemplo).....	55

Lista de Tabelas

Tabela 1. Exemplo de delay durante o SMART POWER UP.....	47
Tabela 2. SMART POWER UP Hot Condition sequência de ativação de cargas	48

Capítulo 1: Introdução

1.1: Tema do projeto

A Whirlpool sempre foi uma empresa sinônimo de qualidade no Brasil, suas marcas são respeitadas principalmente por sua preocupação em qualidade e desempenho. É uma empresa líder de mercado e referência, por isso existe uma preocupação frequente com os índices de qualidade e melhoria contínua, o que pode ser observado no seu planejamento estratégico, que possui metas relacionadas à qualidade de seus produtos.

A Whirlpool busca constantemente entender os problemas de qualidade ocorridos em campo, para criar possíveis soluções, e reduzir os índices de reclamação dos clientes.

O tema deste trabalho consiste na criação de uma ferramenta que complemente a validação dos componentes do refrigerador, visando a melhoria contínua dos processos e diminuição nos índices de reclamação, ou seja, o projeto está totalmente alinhado ao planejamento estratégico da empresa.

1.2: Problemas a serem resolvidos

Atualmente o teste de fim de linha é feito através de um equipamento chamado AGRANKOW, que testa a potência de alguns componentes. Se determinados componentes atingirem o parâmetro de potência ajustado, o equipamento valida o produto, caso contrário ele reprova.

O principal problema é que os parâmetros existem há muitos anos, os quais foram baseados em produtos antigos, que não possuíam a complexidade eletrônica dos refrigeradores atuais. Somado a isso, há uma grande variação da potência das cargas dependendo da variação da temperatura ambiente. Outro agravante é que, dependendo da situação, por não conhecer o sistema por completo, a equipe de manufatura aumenta o alcance dos parâmetros nas configurações, não se

baseando em nenhum estudo prático e validado. Em decorrência de tudo isso, acontecem situações em que produtos defeituosos são aprovados.

Existem componentes que atualmente não são testados, como por exemplo os sensores.



Figura 1. Equipamento AGRANKOW

1.3: Objetivos deste trabalho

O objetivo deste trabalho consiste em entender o funcionamento do refrigerador, e desenvolver rotinas de teste de fim de linha de refrigeradores que envolvam soluções simples e de baixo custo, para que possam ser implementadas no *software* da placa de controle e melhorar o sistema de validação dos produtos.

Os objetivos específicos são:

- Validar o comportamento do sistema;
- Diagnosticar problemas simples de serem testados;
- Retirar da manufatura o controle total da validação dos produtos, assumindo que a tecnologia tenha participação nesta etapa;
- Eliminar a margem de erro dos operadores.

1.4: Motivação

A principal motivação para este trabalho é o potencial que existe de elaboração de algo concreto e de fácil solução, de maneira que auxilie na validação dos produtos, para que eles não cheguem em campo com problemas de funcionamento. Através de um comportamento estudado, espera-se que o sistema funcione seguindo um padrão, e só assim o produto seja aprovado.

1.5: Estrutura do trabalho

Esse trabalho foi dividido em seis capítulos, que abordaram uma parte da experiência vivenciada na Whirlpool e a construção do projeto.

No primeiro capítulo é exposto o tema do projeto, o problema a ser resolvido, os objetivos gerais e objetivos específicos do projeto, além da motivação para o desenvolvimento do mesmo.

O capítulo 2 é apresentado a empresa e o departamento em que foi realizado o projeto, além de mostrar a plataforma que foi utilizada para testes e desenvolvimento das rotinas, e por fim a maneira em que é realizado o teste de fim de linha atualmente.

No terceiro capítulo é mostrado uma rápida análise bibliográfica de algumas ferramentas que ajudaram no desenvolvimento do projeto.

No capítulo 4 é abordado o desenvolvimento efetivo que culminou nas rotinas finais.

O capítulo 5 expõe a maneira em que as rotinas foram criadas, descrevendo a lógica utilizada e mostrando alguns pontos importantes.

Por fim, no último capítulo são apresentadas as conclusões e as perspectivas para o futuro.

Capítulo 2: Whirlpool, Plataforma NEO Bottom Mount, Power Up

Neste capítulo é mostrado o ambiente em que foi desenvolvido o projeto, ou seja, a empresa, a estrutura no setor da empresa em que o trabalho foi desenvolvido e a plataforma utilizada para o estudo e desenvolvimento das rotinas. Será apresentado também o teste de fim de linha atual, o POWER UP.

2.1: A empresa

A Whirlpool Corporation é a maior indústria de eletrodomésticos do mundo, fundada em 11 de novembro de 1911, em Michigan, nos Estados Unidos, com a fundação da Upton Machine Company para a produção de máquinas de lavar roupas, pelo Sr. Louis Upton. [1]

A empresa tem como foco melhorar a vida das pessoas, das famílias e das comunidades, criando a próxima geração de produtos que vai tornar a vida ainda mais prática. Ela possui aproximadamente 67 mil colaboradores e tem algumas das marcas mais reconhecidas no mercado de eletrodomésticos: Whirlpool, Maytag, KitchenAid, Jenn-Air, Amana, Bauknecht, Brastemp e Cônsul. [1]

Com o compromisso de atuar de maneira sustentável, a empresa trabalha para a melhoria de processos, na produção mais limpa com cada vez menos poluentes, e aposta em novas formas de relacionamento com consumidores, funcionários e comunidade, proporcionando uma vida mais sustentável. [1]

Desde 1994 a empresa trabalha com o Sistema de Gestão Integrada, que engloba a gestão da qualidade, meio ambiente, saúde e segurança. Nesse sentido, sua atuação nas áreas social e ambiental já rendeu diversos reconhecimentos, como a inclusão por cinco anos consecutivos no índice Dow Jones de Sustentabilidade, que avalia as empresas com ações na bolsa de valores de Nova Iorque, considerando suas iniciativas e práticas de sustentabilidade. [1]

Ao longo de sua existência a empresa superou inúmeros desafios, incluindo a crise norte-americana de 1929 e a 2ª Guerra Mundial. Mas foi na década de 1950

que aconteceram mudanças relevantes, como a que alterou o nome da organização para Whirlpool Corporation, além do desenvolvimento de novos produtos como secadoras automáticas, refrigeradores e fogões, a adoção da inovação como base de sua gestão, a criação de um serviço de atendimento ao consumidor e a expansão de sua atuação para outros países. [1]

Hoje a empresa ocupa a posição de líder do mercado latino-americano de eletrodomésticos. A Whirlpool Latin America (subsidiária da Whirlpool Corporation) atua no Brasil com as marcas Brastemp, Consul e KitchenAid, com fábricas em Rio Claro (SP), Joinville (SC) e Manaus (AM). Na América Latina a empresa possui escritórios na Argentina, Chile, Peru, Guatemala e Equador, e atua principalmente com as marcas Jenn-Air, KitchenAid, Eslabon de Lujo, Whirlpool, Acros e Maytag.[1]

2.1.1: A Whirlpool no Brasil

A história da empresa no Brasil teve seu início em 1945, com a fundação da Brasmotor, importadora de eletrodomésticos e veículos. Em 1954, a Brasmotor começou a fabricar refrigeradores de marca própria (a Brastemp) e, em 1958, iniciou uma parceria com a Sears Roebuck Corporation, representante da Whirlpool Corporation. O resultado deste processo foi a criação da Multibrás, que delegaria à Brasmotor 65% de suas ações, enquanto Sears/Whirlpool controlaria os outros 35%. [2] A primeira lavadora de roupas automática do Brasil foi fabricada pela Brastemp em novembro de 1959. “A marca revolucionou o mercado ao lançar as primeiras lavadoras automáticas com o inédito sistema de lavagem por agitação e centrifugação, que até hoje é referência nessa categoria”, destaca Rodrigo Azevedo, gerente geral de Marketing da Whirlpool Latin America. Ele ainda complementa que a marca também foi a primeira a pensar no design, oferecendo cesto de inox, painel eletrônico, vidro temperado na tampa, entre outras inovações. [1]

Em 2006, com a aquisição da Maytag, uma das principais empresas de eletrodomésticos dos Estados Unidos, a Whirlpool tornou-se a maior indústria de eletrodomésticos do mundo. Em 2009 a empresa ficou em 6º lugar no ranking das empresas mais admiradas, da revista Fortune, tendo sido eleita a 51ª melhor empresa para trabalhar no Brasil no ranking de 2010, e no mesmo ano foi considerada a empresa mais inovadora do país, segundo a revista Época Negócios.

De acordo com o INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial), a Whirlpool é a quarta colocada no registro de patentes no Brasil, além de ser a empresa brasileira com maior volume de patentes concedidas nos Estados Unidos. A inovação, entretanto, só é possível porque combina a tecnologia com talentos. [1]

No Brasil, a Whirlpool Latin America conta com três unidades fabris, quatro centros de tecnologia (cocção, ar-condicionado, lavanderia e refrigeração) e vinte laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento, que criam e produzem produtos e projetos que serão exportados para mais de 70 países. Ainda conta com um centro administrativo, um centro de documentação e memória, e dois centros de distribuição. A empresa possui um terceiro centro de distribuição na Argentina e sete escritórios em países da América Latina. [1]

Na busca constante pela inovação, a Whirlpool aproximou instituições de ensino e estudantes de diversas áreas como: design, arquitetura, engenharia, física e afins, pelo concurso Inova. Esse concurso, além de premiações como bolsas de estudo, dinheiro e produtos, permite uma aproximação entre a empresa e instituições de ensino. [1]

2.1.2: A estrutura de refrigeração

O SMART POWER UP foi desenvolvido para utilização no sistema de Refrigeração, que tem como subsistemas: Plataforma, Controls, Estruturas, Cooling e Materiais. O trabalho foi realizado dentro do subsistema de Controls e em parceria com o subsistema de Cooling. O subsistema de Controls é responsável pelas especificações eletrônicas dos refrigeradores.

O departamento de Tecnologia de Refrigeração e Desenvolvimento de Produto está localizado no prédio administrativo da Whirlpool na unidade de Joinville (figura 2). Durante o trabalho foi necessário utilizar o Laboratório de Eletrônica e o LDAP (Laboratory for Development of Product Approval), onde estão inseridas as câmeras termodinâmicas.



Figura 2. Sede Administrativa - Whirlpool Joinville

2.2: Plataforma NEO BOTTOM MOUNT

Uma plataforma piloto foi utilizada para testes e também para entender o projeto, denominada NEO Bottom Mount. Essa é uma das plataformas mais complexas da Whirlpool, por possuir todas as cargas disponíveis e o maior número de sensores trabalhados pela Whirlpool.

No mercado essa plataforma é chamada de Brastemp Inverse Frost Free. Diferentemente da maioria dos refrigeradores do mercado nacional, ela possui o compartimento do freezer na parte inferior do refrigerador, por isso ela possui um motor ventilador (*fan*) para jogar o ar frio liberado pelo compressor para o compartimento superior. Ela possui também um *damper* eletrônico para regulagem da temperatura do compartimento superior, e este *damper* se baseia na temperatura medida pelo sensor do refrigerador (RC).

Esse refrigerador (figura 3) também possui um sistema de degelo (*Frost Free*) com uma resistência (*heater*), além de controle eletrônico com funções pré-programadas e iluminação LED.



Figura 3. Plataforma NEO Bottom Mount

2.3: Teste de Fim de Linha atual – POWER UP

O POWER UP é uma rotina que é realizada toda vez que o refrigerador é ligado. Inicialmente a rotina lê a temperatura de *defrost* (DF) e avalia se o produto está quente ou frio. Dependendo da situação ela realiza o POWER UP Hot Condition ou POWER UP Cold Condition.

O POWER UP Hot Condition é a condição da manufatura em que são testadas as cargas do refrigerador, enquanto o POWER UP Cold Condition existe para que a rotina não teste carga desnecessariamente, caso a temperatura do DF esteja abaixo de um parâmetro de temperatura. Isto significa que o compressor estava ligado, e nesse caso a rotina de POWER UP não liga o compressor, de maneira a protegê-lo.

O POWER UP apenas liga as cargas de acordo com a figura 4, e o equipamento AGRANKOW valida o produto de acordo a potência lida e os parâmetros estipulados.

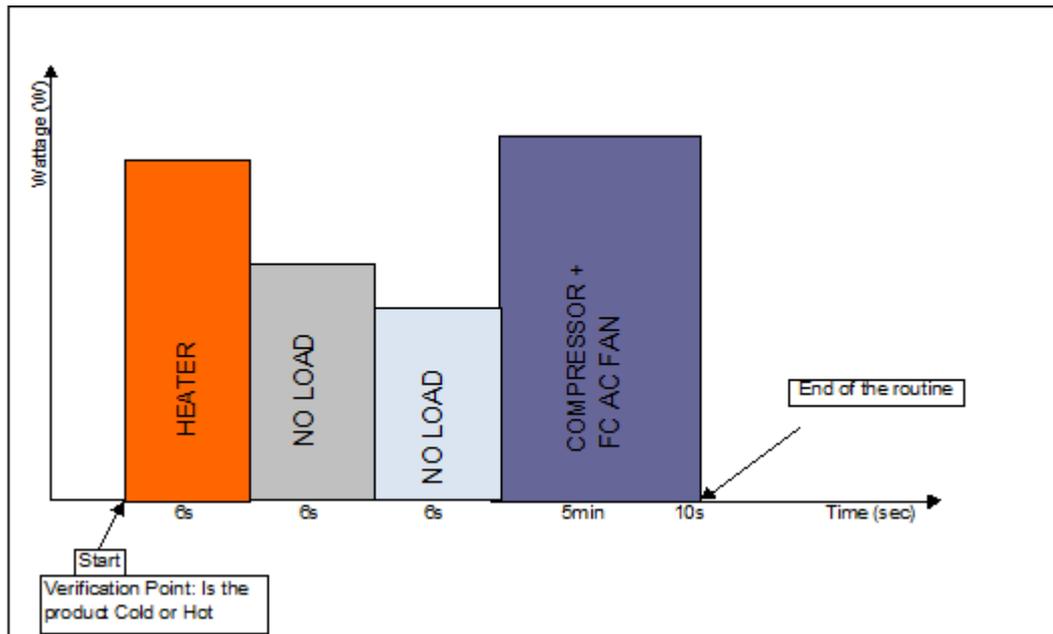


Figura 4. Sequência do POWER UP

Capítulo 3: FMEA e Metodologia Seis Sigma

Para compreender melhor como foi organizado o projeto para desenvolver as rotinas do SMART POWER UP, foi necessário aprender sobre algumas ferramentas utilizadas na Whirlpool, que auxiliaram no projeto. A aprendizagem ocorreu por meio de capacitação interna, porém principalmente através da prática, através do conhecimento adquirido das experiências de outras pessoas que contribuíram para o crescimento profissional.

Neste capítulo serão apresentados os conceitos mais importantes referentes a FMEA e a Metodologia Seis Sigma.

3.1: FMEA

A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria. Este é o objetivo básico desta ferramenta e, portanto, pode-se dizer que, com sua utilização, diminui-se as chances do produto ou processo falhar durante sua operação, ou seja, busca-se aumentar a confiabilidade, que é a probabilidade de falha do produto/processo. [3]

Esta dimensão da qualidade, a confiabilidade, tem se tornado cada vez mais importante para os consumidores, pois a falha de um produto, mesmo que prontamente reparada pelo serviço de assistência técnica e totalmente coberta por termos de garantia, causa, no mínimo, uma insatisfação ao consumidor ao privá-lo do uso do produto por determinado tempo. Além disso, cada vez mais são lançados produtos em que determinados tipos de falhas podem ter consequências drásticas para o consumidor, tais como aviões e equipamentos hospitalares nos quais o mau funcionamento pode significar até mesmo um risco de vida ao usuário. [3]

Apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque no projeto de novos produtos e processos, a metodologia FMEA, pela sua grande utilidade, passou a ser

aplicada de diversas maneiras. Assim, ela atualmente é utilizada para diminuir as falhas de produtos e processos existentes e para diminuir a probabilidade de falha em processos administrativos. Tem sido empregada também em aplicações específicas tais como análises de fontes de risco em engenharia de segurança e na indústria de alimentos. [3]

3.2: Metodologia Seis Sigma

O uso da metodologia Seis Sigma na Whirlpool começou em 1997, nos Estados Unidos, e em 2002, na América Latina. Esta metodologia trabalha de forma sistemática, utilizando perguntas chave que levam às respostas certas. Todos os projetos Seis Sigma são resolvidos encontrando-se a raiz das variações, onde um certo indicador a ser melhorado está em função de diversas outras variáveis que influenciam em seu resultado final.

A metodologia Seis Sigma pode ser utilizada em qualquer setor ou empresa, e em vários níveis de complexidade. Esta metodologia não deve se resumir apenas à aplicação de técnicas estatísticas, apesar de sua denominação estar relacionada a uma medida estatística de dispersão: o desvio padrão. O planejamento, a definição de metas precisas e ambiciosas, a busca do comprometimento e integração dos trabalhadores, a adaptação a nível estrutural, o realinhamento cultural e a valorização das lideranças são aspectos vitais para o sucesso, e a metodologia Seis Sigma pode contribuir para isto [4]

Quem aplica esta metodologia a um processo deve primeiramente estudar o processo e conhecer suas variáveis, para assim fazer com que o controle das mesmas resultem na melhoria do seu indicador. Na prática é definido como um conjunto de ferramentas estatísticas utilizadas para variação via metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) ou PDSA (*Plan, Do, Study, Act*). No caso deste trabalho será utilizada a metodologia PDSA. A Figura 5 ilustra o funcionamento contínuo do ciclo PDSA, visando sempre a melhoria na qualidade do processo.

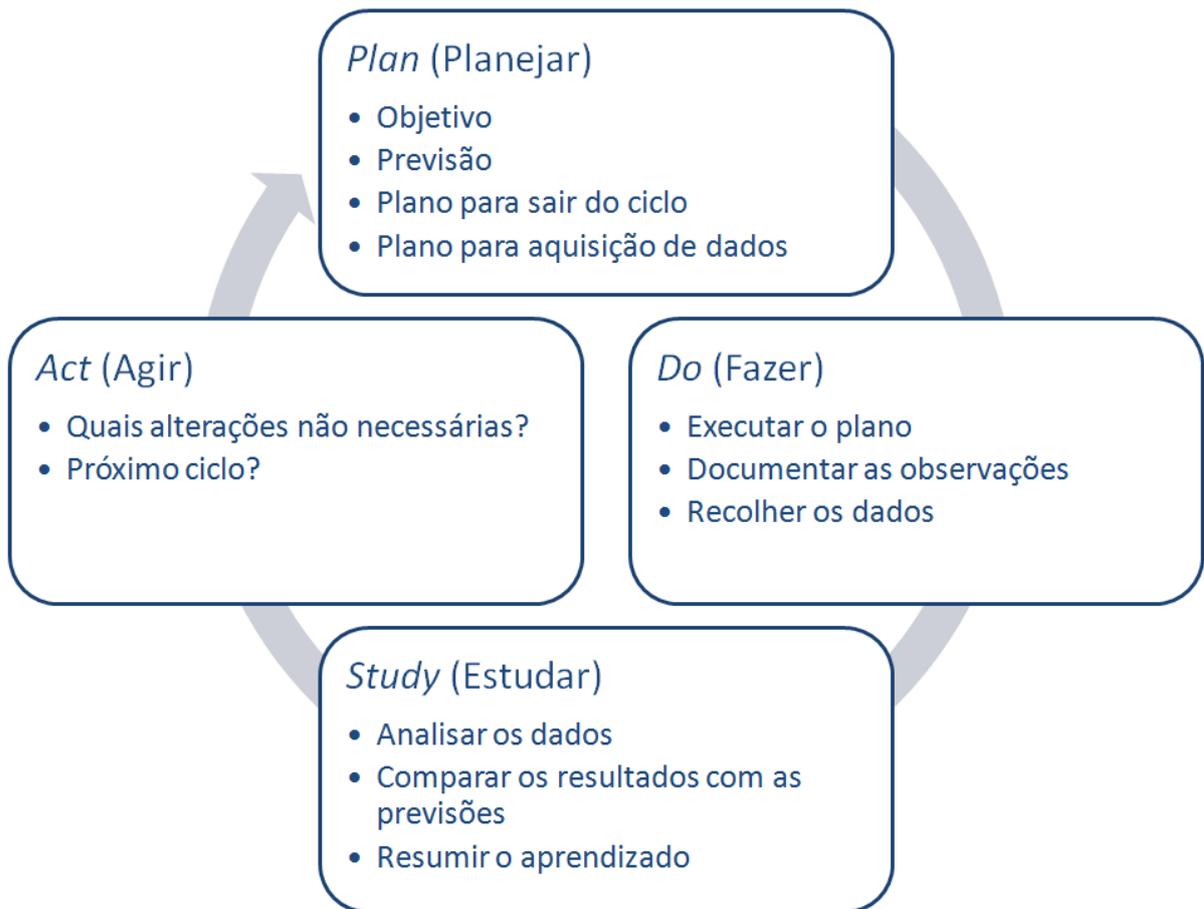


Figura 5. Metodologia PDSA

Na primeira etapa (*Plan*) são criados os objetivos do projeto. O processo é estudado e testes são planejados. É feita uma previsão dos resultados do teste para posterior confronto. Na segunda etapa (*Do*), são executados os testes, documentação dos problemas e de variações não esperadas. Na terceira etapa (*Study*) confrontam-se os resultados encontrados com as previsões. É aqui que se concentra o estudo dos resultados antes das implementações. Na última etapa (*Act*) as hipóteses são modificadas com base nos estudos realizados, e processos alternativos podem ou não serem propostos. Se no final algumas variáveis ainda não tenham sido esclarecidas, deve-se iniciar novamente a primeira etapa, realizando novos testes, e assim por diante.

A seguir são apresentadas algumas ferramentas utilizadas pertencentes à metodologia Seis Sigma, e como estas ferramentas são aplicadas em conjunto com o ciclo PDSA.

3.2.1: Mapa de raciocínio

O Mapa de Raciocínio é um processo de documentação contínua do projeto, onde são documentados os conhecimentos existentes, perguntas, caminhos paralelos traçados para responder estas perguntas, ferramentas utilizadas para elaboração das respostas, documentação do conhecimento obtido durante o trabalho realizado e direção do trabalho futuro. [5]

Um Mapa de Raciocínio é capaz de englobar todo o ciclo PDSA, onde existem as discussões dos problemas, possíveis soluções, planejamentos e resultados de testes, conclusões obtidas e próximos passos executados após cada um destes testes. É um documento extenso, mas o seu entendimento torna possível analisar e documentar todas as possíveis soluções previstas para resolver um problema. [5]

3.2.2: DOE

O DOE (*Design of Experiments* – Projeto de Experimentos) é um método sistemático que determina a relação entre fatores que afetam um processo e sua saída. Na prática, é utilizado para determinar relações de causa-efeito. Esta informação é necessária para gerenciar entradas do processo com intuito de otimizar sua saída [6].

Um fato importante é que o projetista não precisa (e nem é seu objetivo) levantar equações diferenciais que modelem o sistema a ser testado, mas sim desenvolver um conjunto de medições que crie dados suficientes para provar estatisticamente essas relações, de forma a entender a influência das variáveis de entrada na saída do sistema.

O DOE consiste em três fases: (a) o planejamento, onde deve-se cuidadosamente decidir quais variáveis devem ser analisadas; (b) a execução, que deve ser feita com atenção para evitar possíveis erros de interpretação dos resultados ou necessidade de refazer os testes; e (c) a análise dos dados, responsável pelas conclusões e teorias resultantes com base nos testes realizados.

Relacionado ao ciclo PDSA, estas três fases correspondem, respectivamente, em Planejar (*Plan*), Fazer (*Do*) e Estudar (*Study*).

Capítulo 4: Concepção do projeto

Neste capítulo será abordado o desenvolvimento efetivo que culminou nas rotinas que serão descritas no próximo capítulo.

Devido a questões de confidencialidade, não serão apresentados os dados e tabelas específicas, tampouco os valores dos parâmetros. Porém, como o objetivo deste trabalho é entender como ocorreu o desenvolvimento, os caminhos tomados e as decisões realizadas, a apresentação desses dados não é necessária neste documento.

4.1: Fluxo de informação

Primeiramente foi realizada uma reunião de início (*kick-off*) do projeto, com todo o time de Controls e Cooling, na qual foi mostrada a ideia do projeto e definiu-se o time que auxiliaria no desenvolvimento.

Para organização das ideias, para tornar visível o raciocínio por trás das decisões tomadas e dos processos, principalmente nas reuniões de alinhamento, foi estruturado um mapa de raciocínio, que foi compartilhado com os integrantes do projeto. A versão inicial desse mapa de raciocínio é mostrada na figura 6.

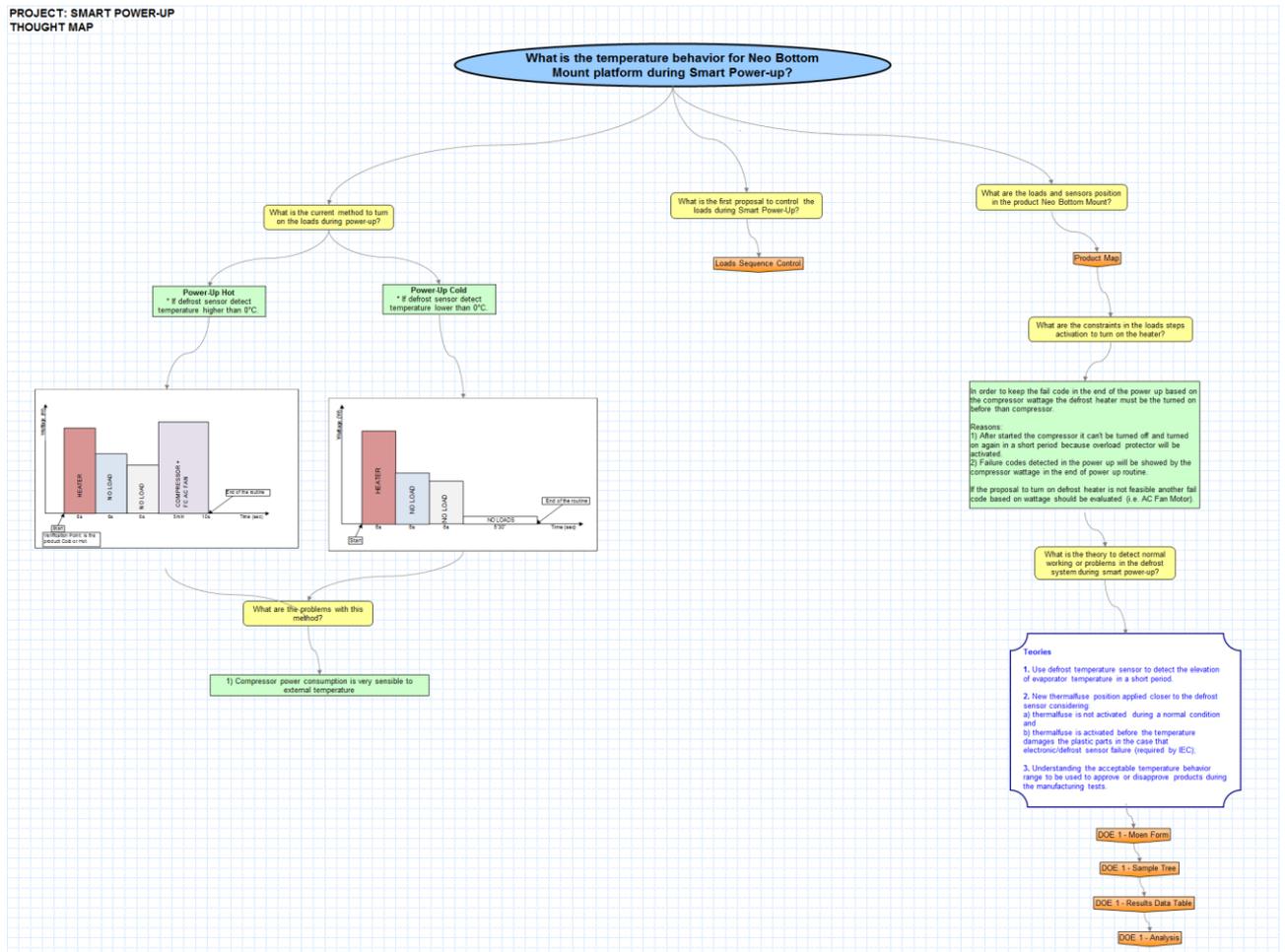


Figura 6. Versão Inicial do Mapa de Raciocínio

4.2: Análise de oportunidades

Foi necessário entender as necessidades e os gargalos possíveis de serem solucionados com rotinas fáceis e sem muito custo. Através do FMEA criado foram levantadas algumas questões, que foram confirmadas a partir da análise feita dos gráficos e dados de qualidade da empresa.

Pelos objetivos do projeto SMART POWER UP, por ser um teste de fim de linha, a análise foi feita das falhas “jovens”, que surgem pouco tempo após o produto ir para campo.

Através do gráfico de Pareto futuro (figura 7), ficou claro que os subsistemas mais críticos e que deveriam ter prioridade, além de maiores oportunidades de

serem sanadas no contexto do SMART POWER UP, seriam os subsistemas de Controls e Cooling.

Pareto Futuro SubSistemas

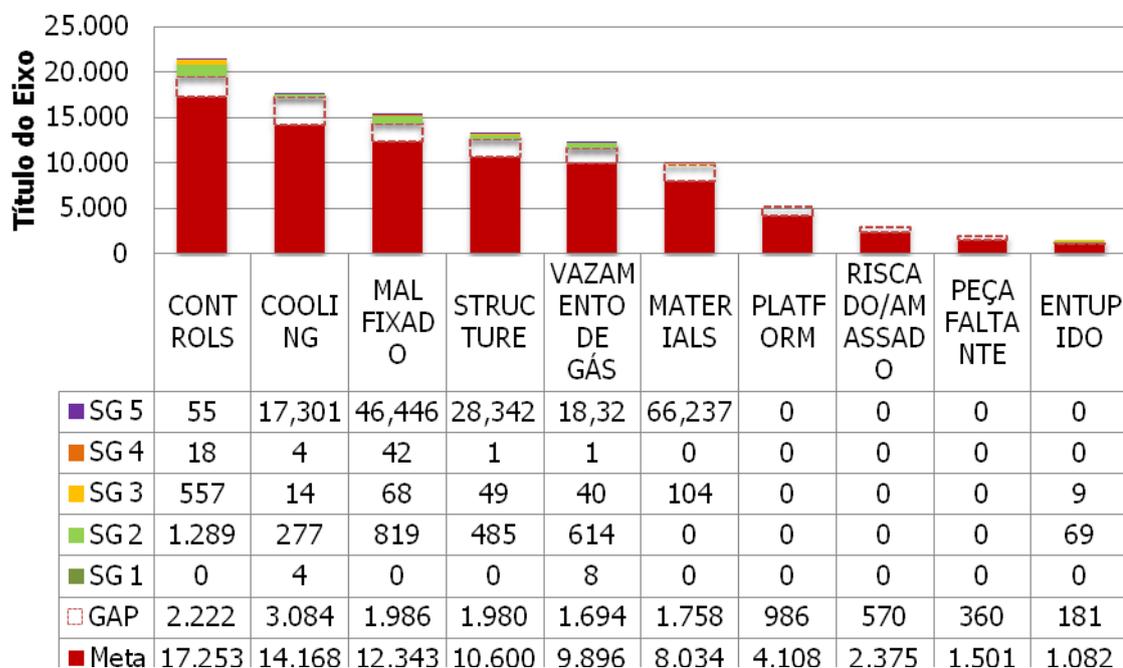


Figura 7. Gráfico de Pareto Futuro

A partir daí foi feito um estudo sobre a plataforma NEO Bottom Mount, que possui três sensores. A análise do gráfico montanha de falhas “jovens” dessa plataforma mostrou que os maiores problemas encontrados em campo são aqueles apresentados na figura 8.

PLATAFORMA 3 SENSORES – NEO BOTTOM

Problema	Nº Casos
Controle Eletrônico	58
Motor Ventilador	29
Damper Eletrônico	16
Interface	15
Compressor	14
Interruptor Pendular	14
Fusível Térmico	11
Carga de Gás	9
Kit sensor	9
Filtro Secador	8
Cordão de alimentação	8
Haste de resistência	8
Condesador	3
Evaporador	2
Rele protetor	3

Julho 2012 a novembro de 2012 – 3 meses em campo

Figura 8. Maiores problemas encontrados em campo

Foram levantados diversos questionamentos a serem respondidos pelas pessoas envolvidas no projeto. Através de questionamentos levantados durante reuniões, algumas ideias surgiram para solucionar os problemas, como verificação de falha de sensor, verificação de inversão de sensores e utilização da tensão de feedback do *damper* eletrônico para validação do mesmo. A lógica desenvolvida será exposta no próximo capítulo.

4.2.1: Variação de temperatura no sensor (Δ Temperatura)

O SMART POWER UP surgiu com a oportunidade de validação do sistema através do comportamento do mesmo, com isso uma das hipóteses levantadas foi a validação dos componentes através da variação de temperatura lida pelos sensores. Portanto, foram feitos testes que simulassem condições ambientes diferentes a fim de se verificar padrões no comportamento do refrigerador.

4.2.2: LabView

Para realização dos testes foi necessário um programa que deixasse a placa de controle em modo escravo, e assim a ativação das cargas pudessem ser manual e temporizada. Na Whirlpool existem módulos prontos em LabView que auxiliam na ativação das cargas dos refrigeradores para a realização de testes. Um dos problemas do SMART POWER UP é que não existia programa específico para a placa de controle da plataforma em questão, por isso e por questão de praticidade foi trocada a placa de controle do refrigerador.

Essa placa é ligada a uma WIDE BOX, que por sua vez está ligada ao computador que possui o programa criado em LabView (figura 9).



Figura 9. Estrutura de ativação de cargas

4.2.3: Aquisição de dados

Para a aquisição dos dados, foi utilizado um computador e um equipamento de aquisição chamado *Agilent DataLogger*, que lê os termopares instalados em posições estratégicas (figura 10).

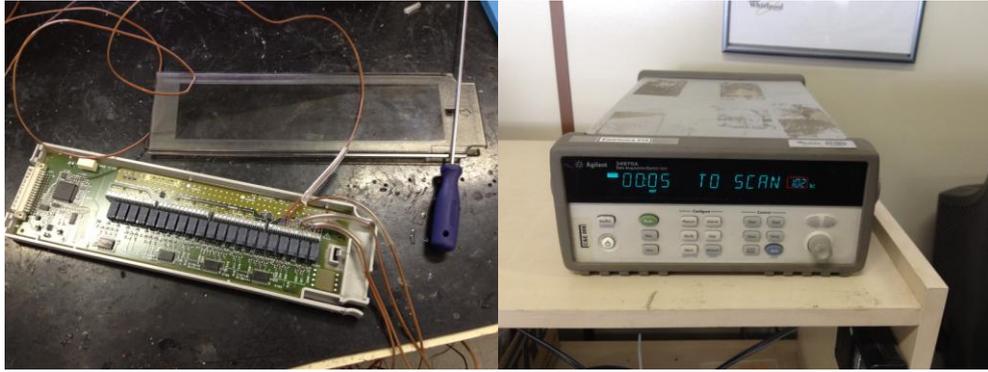


Figura 10. Aquisição de dados

4.2.4: Mapa do produto

Para avaliação do comportamento do produto, os termopares foram alocados em posições estratégicas, de maneira a auxiliar na análise crítica do SMART POWER UP, respondendo perguntas essenciais para a robustez do projeto (figuras 11 e 12).

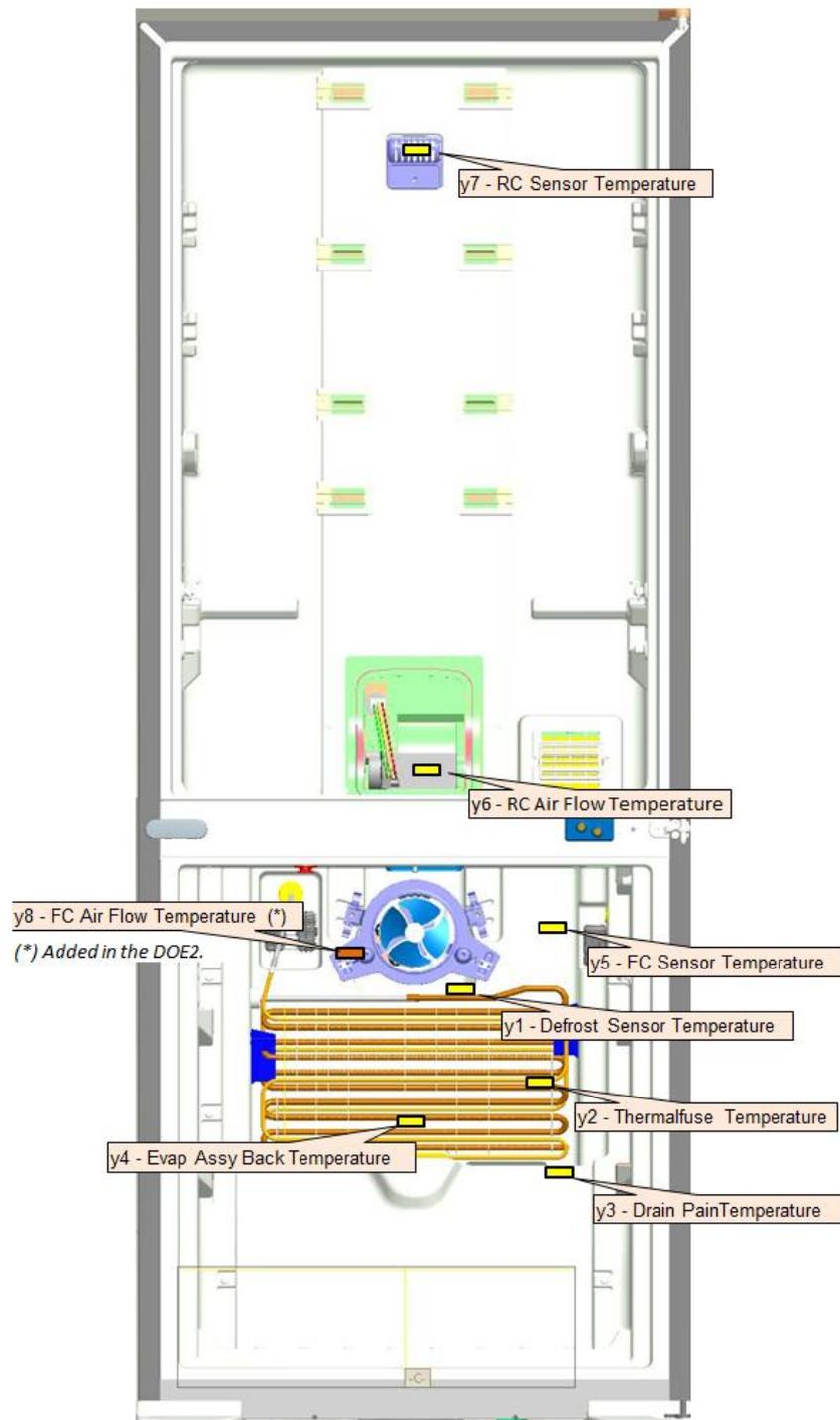


Figura 11. Posicionamento dos termopares no refrigerador (desenho)



Figura 12. Refrigerador instrumentado (fotografia)

4.3: Simulação em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$)

4.3.1: DOE 1 – Análise do melhor posicionamento do *Heater* na sequência do SMART POWER UP

Através do mapa de raciocínio, surgiu a dúvida sobre o melhor posicionamento da ativação do *heater* na sequência de ativação das cargas do SMART POWER UP. Foi necessário entender se a variação da temperatura criada pela ativação do *heater* seria maior com o sistema já resfriado, ou seja, após a ativação do compressor, ou com o sistema em temperatura ambiente.

Para responder esta pergunta foi realizado o DOE 1, em que foram realizados testes em subtensão e sobretensão, com a ativação do compressor ou não, em uma temperatura estabilizada de $\pm 25^{\circ}\text{C}$. A árvore de teste é apresentada na figura 13.

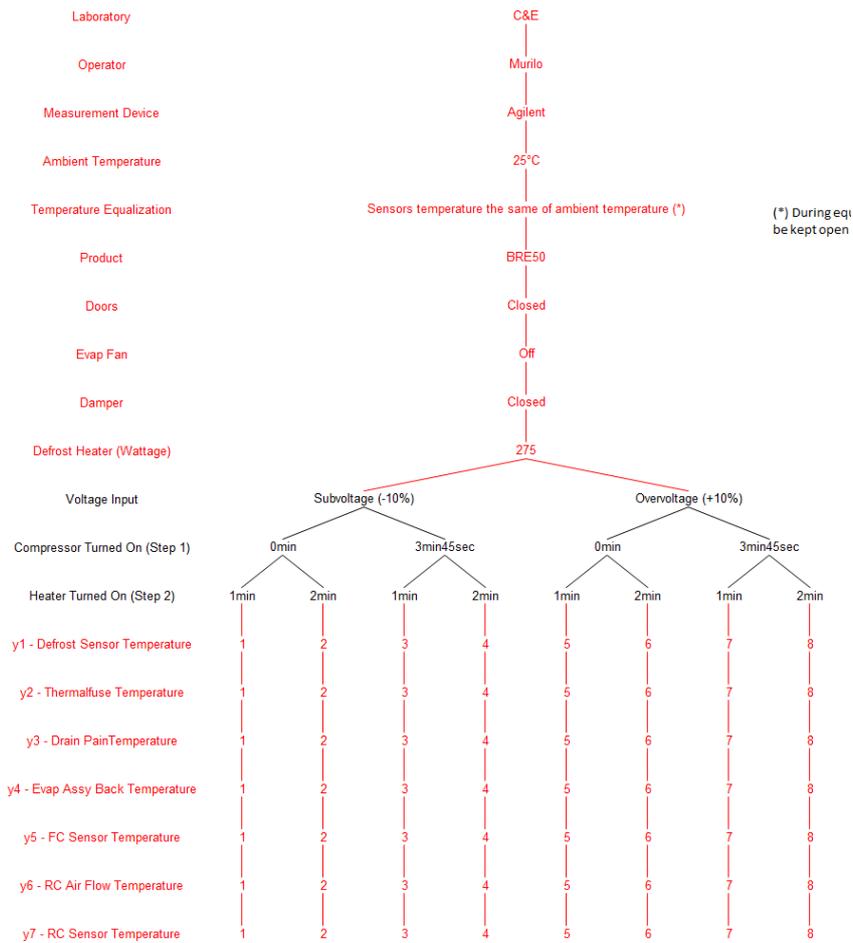


Figura 13. Árvore de teste para o DOE 1

Pela análise dos dados realizados neste DOE 1, a maior variação de temperatura criada pela ativação do *heater* ocorreu em situações em que o *heater* fosse acionado antes do compressor, ou seja, com a temperatura mais elevada.

Pelo motivo exposto acima, a sequência então criada para o SMART POWER UP e para validação no DOE 2 foi com o *heater* acionado primeiro.

4.3.2: Teste com sensor de DF na saída do evaporador

A plataforma NEO Bottom Mount utilizava o sensor de *defrost* (DF) na saída do evaporador, o que não gerava grandes variações de temperatura decorrentes da atuação dos componentes do refrigerador, principalmente do compressor. Durante as primeiras análises de gráficos sobre o comportamento da temperatura nessa condição, os resultados não foram satisfatórios. O comportamento observado não

foi adequado, além de ser lento (figura 14). Isso inviabilizaria o SMART POWER UP, porque ele não seria robusto o suficiente para implementação em fábrica.

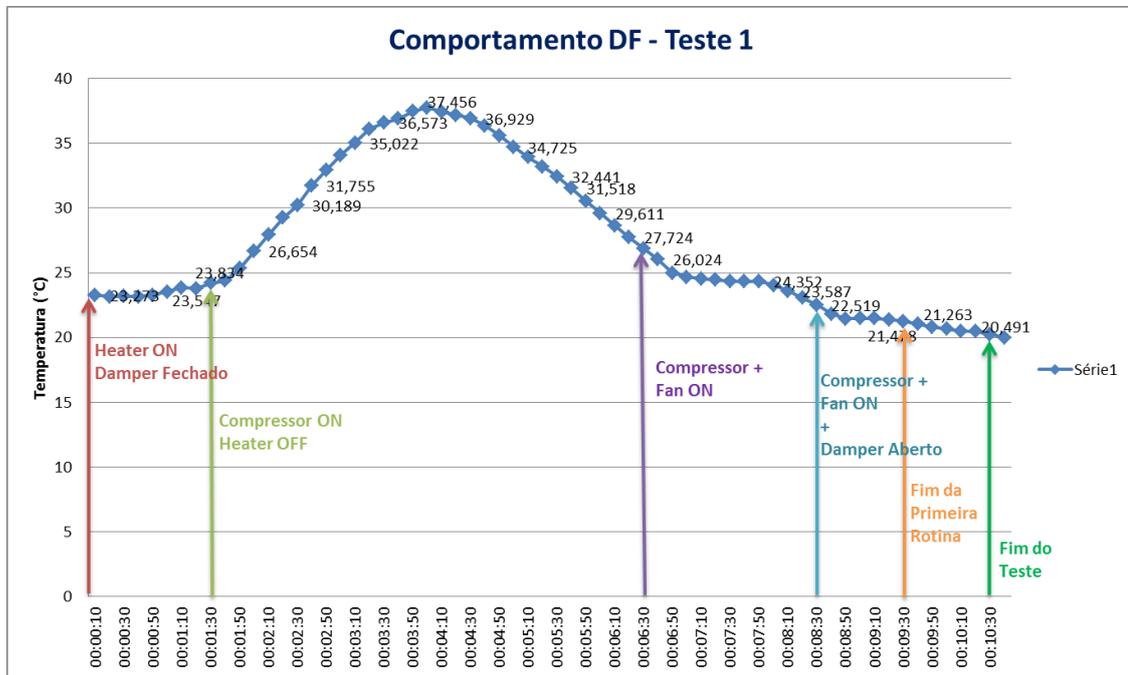


Figura 14. Comportamento do sensor de defrost (DF) ao longo do tempo, posicionado na saída do evaporador

Após esta análise houve uma reunião de alinhamento com o chefe de Cooling para a troca do posicionamento do sensor de DF em toda a plataforma NEO Bottom Mount. Havia a necessidade de implementar este sensor na entrada do evaporador, que fica próxima da região de expansão do gás, e onde a temperatura mais varia.

Foram mostrados os benefícios resultantes da implementação do SMART POWER UP, e foi analisado com a equipe de Cooling quais seriam os impactos que surgiriam com essa mudança.

Para a mudança de posicionamento do sensor o impacto mais significativo seria em relação aos parâmetros termostáticos configurados pelo subsistema de Cooling, uma vez que na manufatura já existiam produtos com essa configuração, e por isso não haveria problema.

Tendo em vista o exposto acima, a equipe de Cooling aceitou mudar o posicionamento do sensor de *defrost* para uma posição perto da entrada do evaporador, e o SMART POWER UP pode continuar.

4.3.3: DOE 2 – Validação da sequência estipulada

Posteriormente foi criada uma sequência para o SMART POWER UP, e o DOE 2 surgiria para validar a robustez dessa sequência.

Primeiramente é acionado o *heater* durante um período, depois o compressor, o qual permanece ligado até o fim da sequência. Após um certo período é acionado o *fan*, e por último o *dampner* eletrônico. A árvore de testes é mostrada na figura 15.

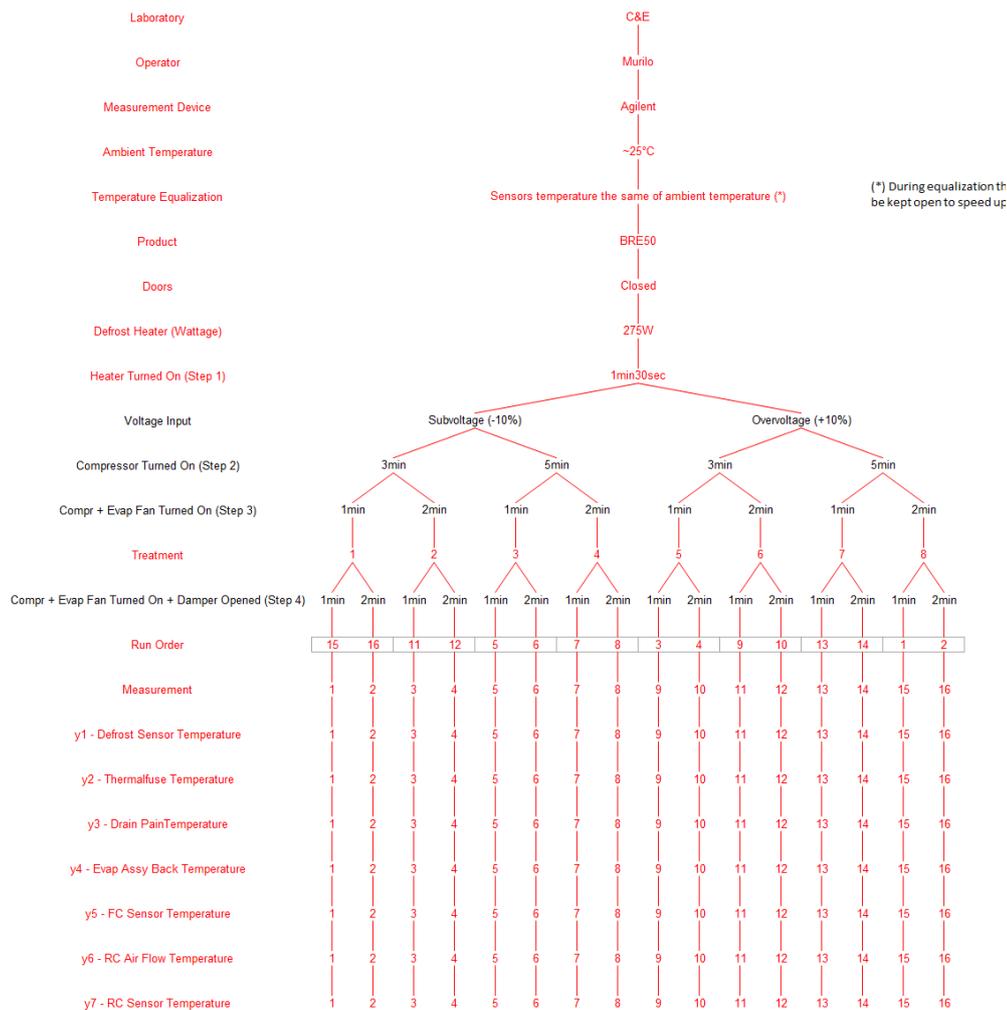


Figura 15. Árvore de testes para o DOE 2

Desta vez o comportamento do sensor de DF foi mais interessante, uma vez que a temperatura caiu rapidamente, obtendo-se uma variação grande de maneira a validar o funcionamento do compressor. Com o sistema refrigerado, quando houve a ativação do *fan*, a temperatura subiu rapidamente, com uma grande variação, validando assim o comportamento do *fan* (figura 16).

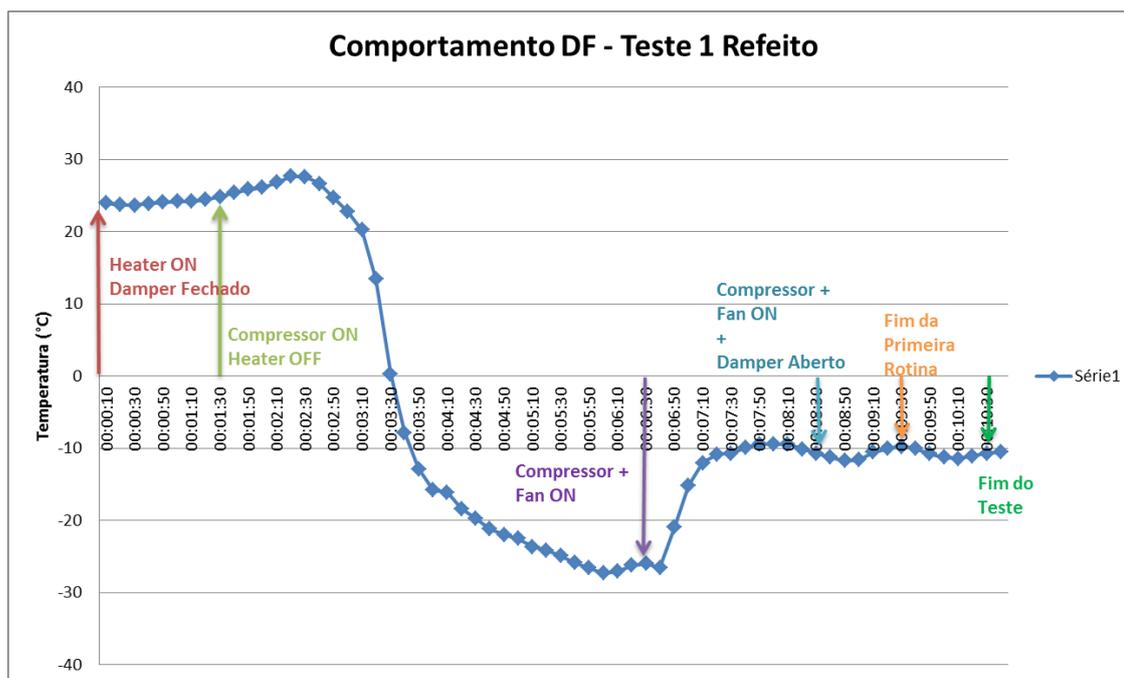


Figura 16. Comportamento do sensor de DF na entrada do evaporador

O sensor do refrigerador RC não teve uma variação significativa, e por isso foi descartado o seu uso para validar o *damper* eletrônico. Porém, o *damper* pode ser avaliado através da tensão do feedback do *damper*.

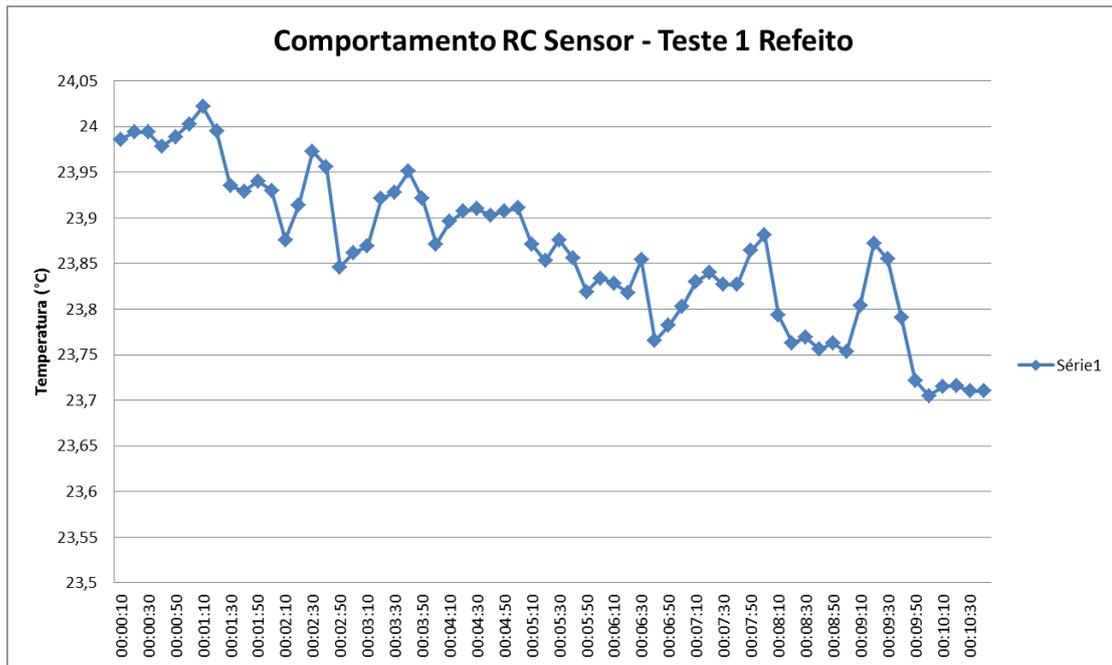


Figura 17. Pouca variação de temperatura no sensor RC

4.4: Simulação em câmara termodinâmica

Os testes foram feitos tanto em temperatura ambiente, em câmara fria e câmara quente, com o objetivo de entender a robustez do SMART POWER UP tanto para inverno quanto verão, já que a temperatura dentro da fábrica oscila bastante (figura 18).



Figura 18. LDAP - Câmara Termodinâmica

4.4.1: Câmara Quente ($\pm 42^{\circ}\text{C}$)

Em câmara quente houve a necessidade de análise dos termopares instalados na calha e no termofusível, pois foi necessário entender se, ao ligar o *heater*, o produto não se aqueceria demasiadamente.

Com a análise dos dados foi concluído que se a temperatura ambiente passasse de 42°C o SMART POWER UP não deveria ser ativado, porque a temperatura na região do termofusível ficaria muito alta, podendo romper o mesmo (figura 19). Um dos testes realizados em câmara quente é mostrado na figura 20.



Figura 19. Controle de Temperatura - Temperatura 42°C

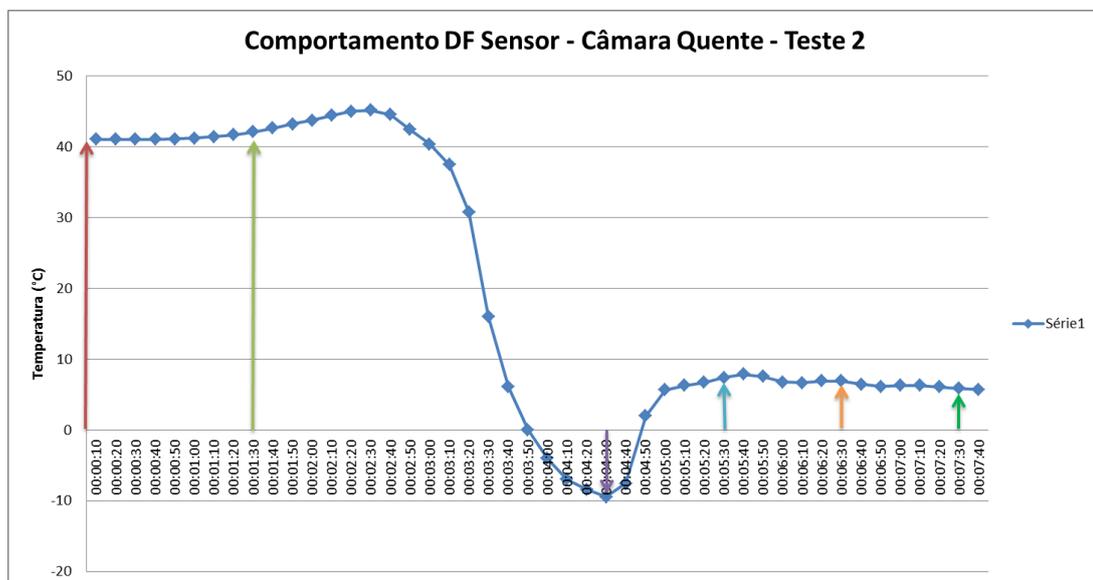


Figura 20. Teste realizado em câmara quente

4.4.2: Câmara Fria ($\pm 10^{\circ}\text{C}$)

Segue na figura 21 alguns testes realizados em câmara fria

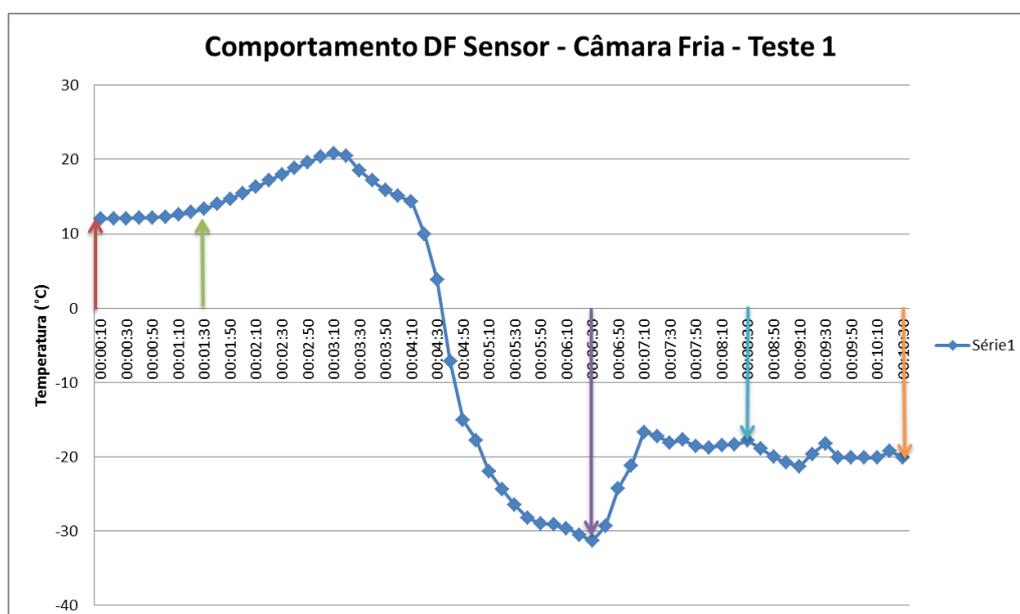
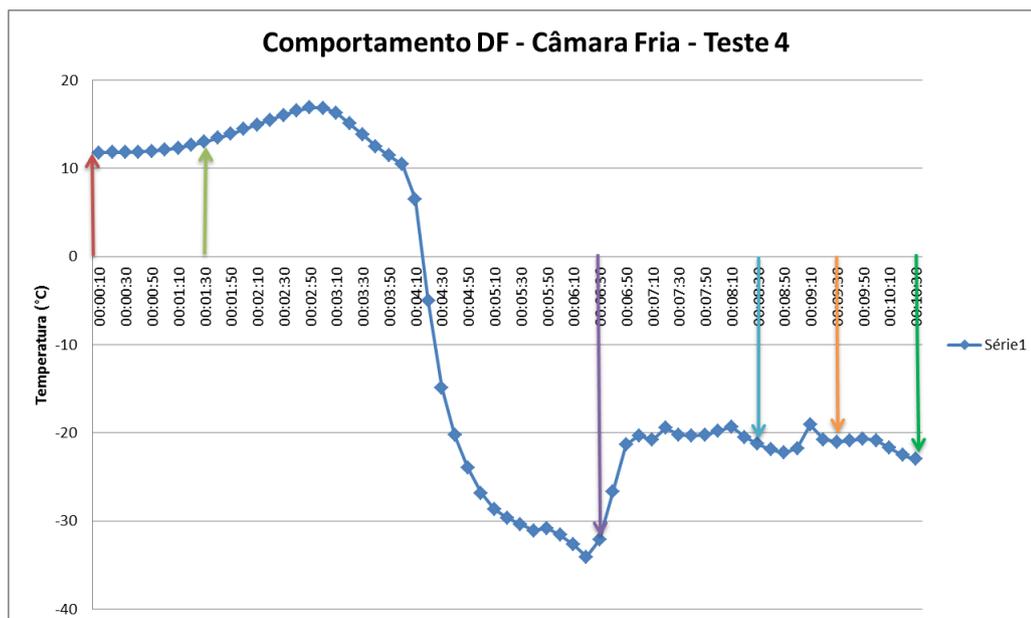


Figura 21. Alguns testes realizados em câmara fria

4.5: Padrão de comportamento de temperatura

Como verificado nos gráficos de temperatura ambiente, em câmara quente e câmara fria, na análise gráfica do sensor de *defrost* foi verificado um padrão de comportamento que foi considerado robusto para validação dos componentes.

Outro questionamento que surgiu foi a possibilidade de uma reavaliação do produto no carrossel de teste. Existem situações em que o operador percebe

visualmente algum problema fácil de ser rapidamente resolvido, como falta de lâmpada ou falta de algum utensílio do refrigerador. Pelo fato dessa análise do produto acontecer em paralelo com o POWER UP, o produto poderia ser retirado de linha para colocação rápida do utensílio ou reparo rápido do que fosse necessário, porém o produto estaria resfriado, já que o compressor poderia ter sido ativado.

O que acontece normalmente é que o compressor tem uma proteção de sobrecarga, então o produto deve ficar um tempo mínimo fora da linha antes de entrar novamente no carrossel de teste, já que o compressor não ligará.

Foram feitos testes para verificar o comportamento do produto caso isso ocorresse, e verificou-se que com esse tempo mínimo de espera, o sensor de *defrost* volta para uma condição de temperatura ambiente rapidamente (figura 22).

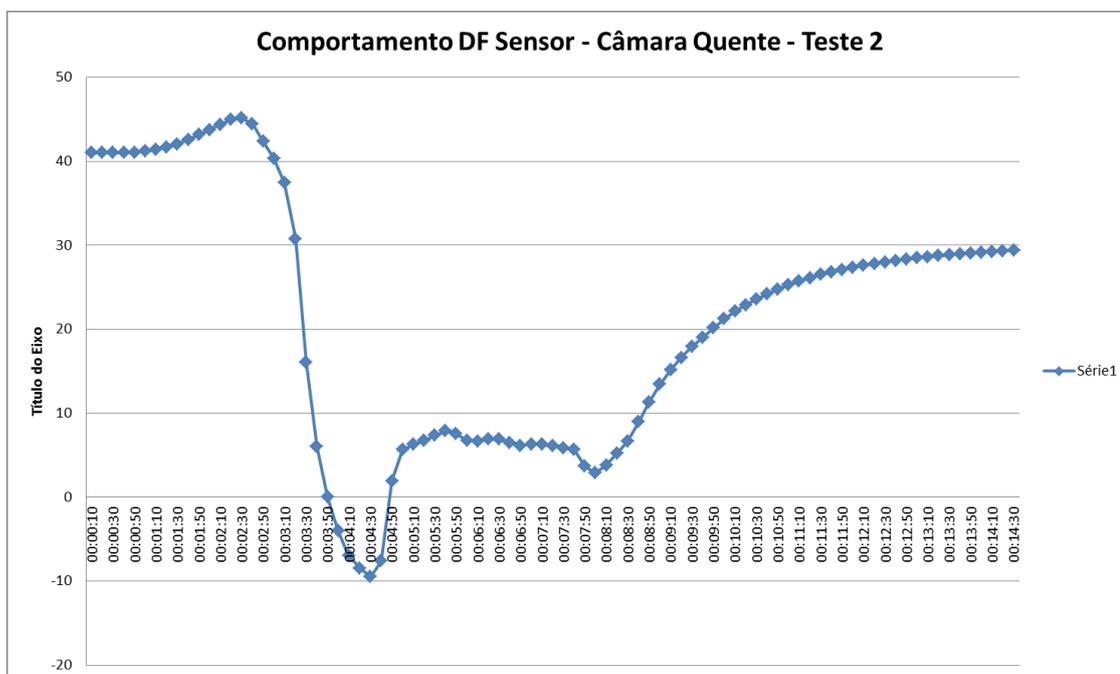


Figura 22. Comportamento do sensor DF após o compressor desligar

Capítulo 5: Desenvolvimento das Rotinas

Neste capítulo são descritas as rotinas criadas para ajudar a solucionar o problema inicial e complementar a validação dos produtos. As rotinas serão aqui descritas de uma maneira padronizada, sem apontar dados. Essa é a entrega esperada pela Whirlpool para esse projeto.

5.1: Descrição do Módulo

O SMART POWER UP é um software modular, responsável em validar as cargas do refrigerador, usando a variação de temperatura e os feedbacks. A intenção deste projeto é criar um filtro adicional no processo de validação do sistema de produção e melhorar os critérios de aprovação. Os requisitos são os seguintes:

- (a) Toda vez que o produto for energizado, a rotina de Power Up deve ser executada;
- (b) O software deve executar a rotina em um tempo inferior a SPU_ROUTINE_TIME, não importando o tipo de carga a ser ativada;
- (c) A rotina de Power Up começa quando o software se inicia e termina 5 segundos depois do último alarme de falha possível;
- (d) Durante o Power Up, o COMPRESSOR_PROT_TIMER não é considerado.
- (e) A rotina de Power Up não é realizada se a comunicação da placa de controle não é estabelecida com a interface do usuário.

5.2: Resumo do módulo

5.2.1: Descrição geral do princípio básico de operação

A estrutura do SMART POWER UP é mostrada na figura 23.

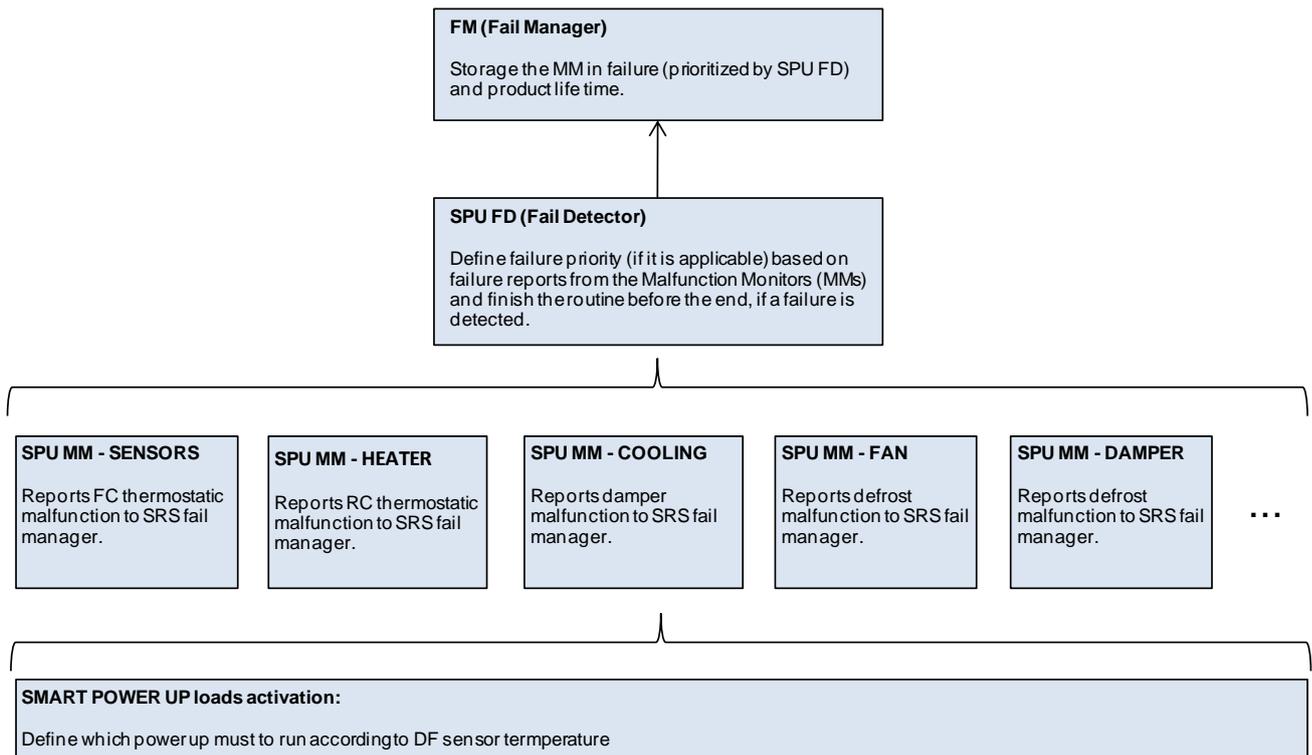


Figura 23. Estrutura do SMART POWER UP

- A primeira estrutura (LOADS ACTIVATION) é responsável por ligar e desligar as cargas de acordo com o tempo definido;
- A segunda estrutura (SMART POWER UP MALFUNCTION MONITORS - SPU MMs) é responsável por monitorar a variação de temperatura ou tensão de feedback que possa ocorrer durante cada ativação de carga;
- A terceira estrutura (SMART POWER UP FAIL DETECTOR - SPU FD) é responsável por definir a prioridade de falhas e terminar o teste, desligando o compressor antes do tempo esperado para a rotina
- A quarta estrutura (FAIL MANAGER - FM) é responsável por receber a falha priorizada pelo SPU FD, e armazenar essa falha na memória não volátil, para poder ser recuperada quando a placa retornar de campo para a Whirlpool.

5.2.2: Ativação de cargas do SMART POWER UP

A temperatura medida no sensor de *defrost* (DF) indicará se a rotina de SMART POWER UP será executada como Hot ou Cold Condition. Se a temperatura do DF for mais alta que POWER_UP_COLD_CONDITION_TEMP, o sistema deve ser executado em *Hot Condition*, caso contrário, o sistema deve executar a *Cold Condition*.

5.2.2.1: Smart Power Up Hot Condition

A intenção do SMART POWER UP Hot Condition é verificar a ativação de cargas durante o processo de manufatura. Nesta rotina, o software deve ligar todas as cargas elétricas do produto para testá-las.

Esta condição é ativada se a temperatura medida por DF for maior que POWER_UP_COLD_CONDITION_TEMP. Uma ou mais cargas podem ser ativadas em cada passo do Smart Power Up Hot Condition. Para garantir a padronização e modularidade do Smart Power Up, se o tempo definido for 0, quer dizer que esse passo deve ser desconsiderado, e se a aplicação de determinada plataforma precisa de um tempo sem cargas ativadas (*delay*) entre a avaliação de cada passo, no próprio software é definido uma padrão NA, como sendo o *delay*. Um exemplo dessa condição é mostrado na tabela 1.

Load	Sequence	Time to keep ON
Load1 = NA	1	SPU_LOAD1_ON_TIME = DELAY1_TIME

Tabela 1. Exemplo de delay durante o SMART POWER UP

A sequência de ativação e o tempo para manter a carga acionada devem ser definidos em um documento chamado de Application Spec (tabela 2).

Load	Sequence	Time to keep ON
Load 1	1	SPU_LOAD1_ON_TIME
Load(s) 2	2	SPU_LOAD2_ON_TIME
Load(s) 3	3	SPU_LOAD3_ON_TIME
Load(s) 4	4	SPU_LOAD4_ON_TIME
Load(s) 5	5	SPU_LOAD5_ON_TIME
Compressor	6	SPU_COMPRESSOR_ON_TIME
Load(s) 7 + Compressor	7	SPU_LOAD7_ON_TIME
Load(s) 8 + Compressor	8	SPU_LOAD8_ON_TIME
Load(s) 9 + Compressor	9	SPU_LOAD9_ON_TIME

condição é ativada se a temperatura medida pelo DF é menor que POWER_UP_COLD_CONDITION_TEMP.

Se o *heater* for a primeira carga (LOAD 1) da sequência do Smart Power Up, ele deve ser ativado durante um tempo considerado seguro, chamado de HEATER_SAFE_TIME, porque em temperaturas elevadas as partes plásticas do refrigerador podem começar a se degradar, e o termofusível se romper. Se a aplicação não possuir uma carga para ser testada na sequência 1 (SPU_LOAD1_ON_TIME = 0), o Smart Power Up Cold Condition não terá cargas ativadas (figura 25).



Figura 25. Ativação de cargas durante o SMART POWER UP Cold Condition

5.3: SMART POWER UP Malfunction Monitors (SPU MMs)

Os SMART POWER UP Malfunction Monitors (SPU MMs) são responsáveis por detectar falhas nos sensores, cargas e funções do sistema, por meio de variações de temperaturas e a tensão de feedback encontrada durante a ativação da carga. Eles são também responsáveis em criar relatórios para o SMART POWER UP Failure Detector (SPU FD).

Em cada SPU MM está associada a lógica usada para validação da carga a ser testada. Foi criada esta estrutura modular para que futuramente os SPU MMs possam ser reutilizados por outras plataformas. Desta forma, dependendo das cargas disponíveis em determinada plataforma, o SMART POWER UP assume SPU MMs específicos.

Os SPU MMs devem acontecer somente durante o SMART POWER UP Hot Condition, já que esta é a condição em que todas as cargas são testadas. Caso esteja ocorrendo um SMART POWER UP Cold Condition o SPU MMs devem ser desabilitados, evitando assim acusação de um erro que não existe. Eles podem assumir dois estados: o estado em que está funcionando “WORKING” e o estado de não funcionamento “MALFUNCTION” (figura 26).



Figura 26. Possíveis estados dos MALFUNCTION MONITORS (MMs)

5.3.1: SPU MM Sensors Calibration (MM_SC_01)

Esta rotina deve checar se todos os sensores estão funcionando corretamente, informando o seu estado (isto é, “WORKING” ou “MALFUNCTION”) para o SPU FM.

Para o perfeito funcionamento deste teste, a temperatura lida por todos os sensores do produto deve estar entre um limite inferior de temperatura (COLD_LOWER_LIMIT) e um limite superior (HOT_UPPER_LIMIT). Se ao menos um dos sensores não estiver lendo um valor entre estes parâmetros, o MM_SC_01 deve mudar de estado para “MALFUNCTION”.

Esta validação deve ocorrer antes da sequência de ativação de cargas, porque a calibração e perfeito funcionamento dos sensores é vital para o funcionamento do SMART POWER UP.

5.3.2: SPU MM Heater (MM_HS_01)

Esta rotina deve checar se o sistema de *defrost* está funcionando perfeitamente, informando o seu estado para o SPU FM.

O SMART POWER UP deve ser executado no fim da linha, quando o produto entra no carrossel de teste, após a injeção de poliuretano. O poliuretano é injetado em alta temperatura, esquentando o produto, por isso é feita uma medição do sensor do refrigerador (RC) para ter certeza de que com o teste do *heater* o produto não esquentará demasiadamente, causando deformação das suas partes plásticas.

Se a temperatura de RC for menor que MAX_SPU_HEATER_TEMP então ligar o *heater* durante o SPU_HEATER_ON_TIME, que seria o seu tempo definido na sequência do SMART POWER UP. Caso contrário, se a temperatura de RC for menor que MAX_SPU_HEATER_TEMP, ligar o *heater* durante HEATER_SAFE_TIME, que seria o tempo considerado seguro para que o refrigerador não esquite demais e sofra deformação, ou que o termofusível se rompa. Essa condição define se será seguro executar o SMART POWER UP, e caso não seja seguro, ou seja, se a temperatura do RC estiver mais alta que MAX_SPU_HEATER_TEMP, ocorrerá a ativação do *heater* pelo HEATER_SAFE_TIME e todas as definições do SMART POWER UP serão desconsideradas para a placa, e o produto será validado apenas pelo POWER UP.

Para a validação do *heater*, caso ele seja ligado durante SPU_HEATER_ON_TIME, a variação de temperatura do sensor de *defrost* (ΔDF) deve ser maior que a mínima variação de temperatura definida para validação (MIN Δ _SPU_HEATER_OK_TEMP).

Foi observado nos testes que devido à inércia da massa de ar quente, mesmo após o desligamento do *heater* e ativação do compressor, a temperatura do sistema continuava subindo durante um pequeno período. Assim, para definição do parâmetro ΔDF , foi implementado um período maior chamado SPU_HEATER_VALID_TIME, como observado na figura 27. Esse parâmetro é calculado como a diferença entre o maior e o menor valor de temperatura apresentado durante o SPU_HEATER_VALID_TIME.

O *heater* não apresenta um alto índice de reclamação, e a verificação por potência é suficiente e não causa problemas.

A partir dos testes verificou-se que a variação da temperatura usando essa lógica era pequena, não sendo suficientemente robusta para implementação na linha. Portanto, essa solução não foi aprovada, e a validação do *heater* continua sendo apenas por potência.

5.3.3: SPU MM Cooling (MM_CO_01)

Esta rotina deve checar se sistema de *cooling* está funcionando perfeitamente, informando o seu estado para o SPU FM.

Para a validação do compressor, caso ele seja ligado durante um período definido como SPU_COMPRESSOR_ON_TIME, a variação de temperatura do sensor de *defrost* (ΔDF) deve ser maior que a mínima variação de temperatura definida para validação (MIN Δ _SPU_COOL_OK_TEMP). Se isso não ocorrer, o MM_CO_01 deve mudar para o estado “MALFUNCTION”, como mostrado anteriormente.

A variação do sensor de *defrost* ΔDF é calculada como a diferença entre o maior e o menor valor de temperatura apresentado durante o SPU_COMPRESSOR_VALID_TIME (figura 27).

5.3.4: SPU MM Sensors (MM_SEN_01)

Outro problema encontrado na fabricação de refrigeradores e de fácil solução no contexto do SMART POWER UP é a inversão de sensores, que acontecia quando o fornecedor troca a posição dos sensores no conector, alterando a informação recebida pela placa, o que desestabiliza as rotinas do refrigerador definidas pelo subsistema de *cooling*.

Esta rotina chamada MM_SEN_01 verifica se os sensores do produto estão corretamente alocados em suas respectivas posições, informando o seu estado para o SPU FM.

Ao executar-se o SMART POWER UP, com ativação tanto do compressor quanto do *fan*, foi observado nos testes que a variação de temperatura do sensor de

defrost ΔDF deve ser maior que a variação de temperatura do sensor do freezer ΔFC , que por sua vez deve ser maior que a variação de temperatura do sensor do refrigerador ΔRC , durante o período de validação da posição dos sensores SPU_SENSORS_VALID_TIME.

Os valores desses parâmetros de variação ΔDF , ΔFC e ΔRC seguem a lógica calculada como sendo a diferença entre o maior e o menor valor de temperatura apresentado em cada sensor durante o SPU_SENSORS_VALID_TIME (figura 27).

5.3.5: SPU MM Fan

Esta rotina deve checar se o *fan* está funcionando perfeitamente, informando o seu estado para o SPU FM.

Para a validação do *fan*, caso ele seja ligado durante um período definido como SPU_FAN_ON_TIME, a variação de temperatura do sensor de *defrost* (ΔDF) deve ser maior que a mínima variação de temperatura definida para validação (MIN Δ _SPU_FAN_OK_TEMP). Se isso não ocorrer o MM_FAN_01 deve-se alterar para o estado "MALFUNCTION", como mencionado anteriormente.

A variação do sensor de *defrost* ΔDF é calculada como a diferença entre o maior e o menor valor de temperatura apresentado durante o SPU_FAN_VALID_TIME (figura 27).

5.3.6: SPU MM DAMPER (MM_DAM_01)

O *damper* eletrônico é um componente que não era testado anteriormente. Acontecem situações em que os operadores não conectam o *damper* eletrônico, e por isso ele não funciona. Com o teste atual nada se sabia sobre a sua situação, e o produto ia para campo, retornando por mau funcionamento e gerando reclamações, diminuindo os índices de qualidade.

Esta rotina deve checar se o *damper* eletrônico está funcionando perfeitamente, informando o seu estado para o SPU FM.

O *damper* eletrônico possui um sinal de feedback, portanto através do SMART POWER UP pode-se monitorar se esse sinal é recebido pela placa de controle após a energização do *damper* eletrônico.

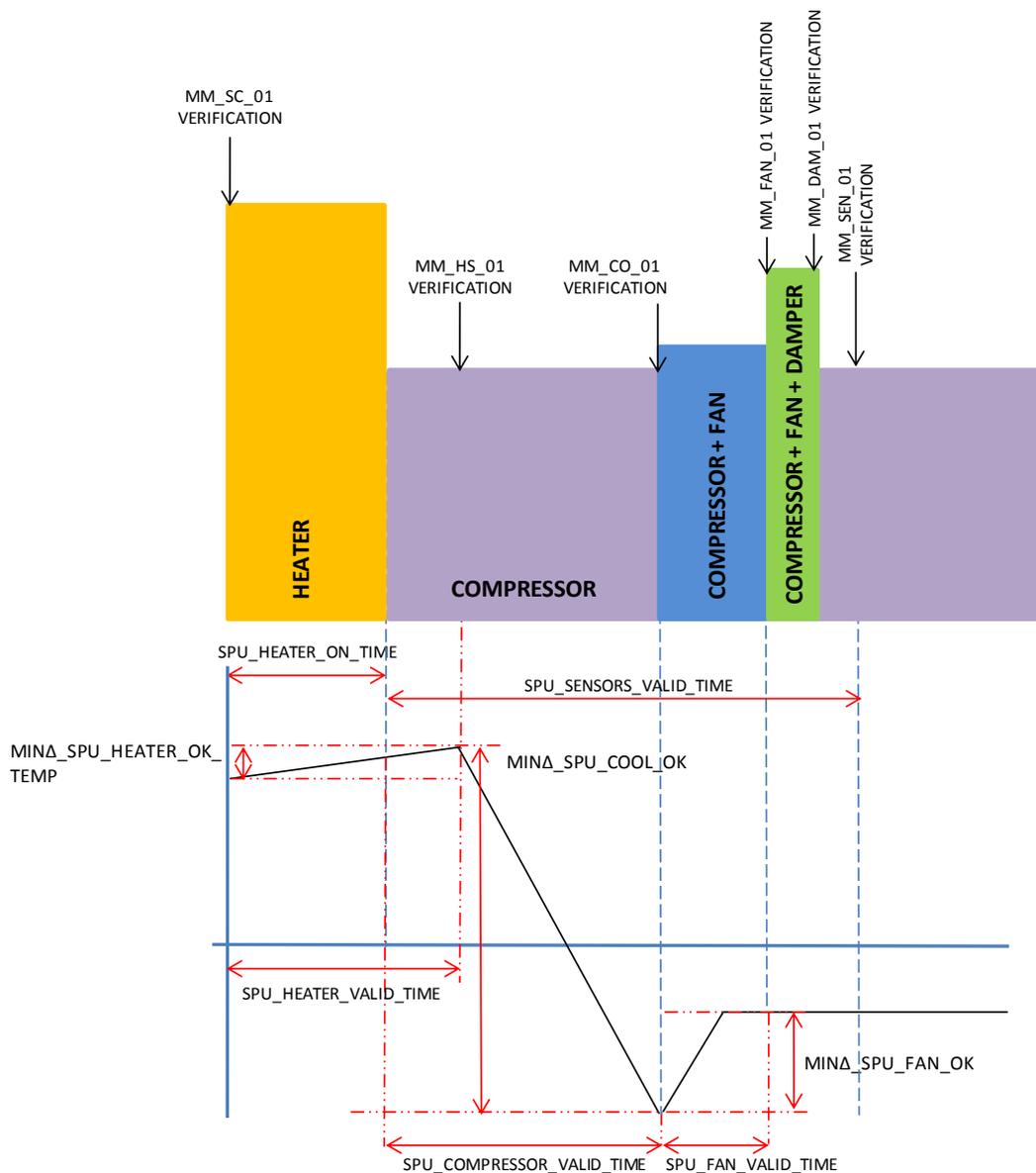


Figura 27. Ativação de cargas da plataforma NEO Bottom Mount pelos SPU MMs com o sensor de RC abaixo de MAX_SPU_HEATER_TEMP

5.4: SMART POWER UP Fail Detector (SPU FD)

A intenção do SMART POWER UP Fail Detector (SPU FD) é a de advertir o operador do sistema de teste sobre uma falha nas cargas do produto. Como o equipamento que testa lê valores de potência para verificar a ativação de cargas, o SPU FD deve desligar o compressor antes do fim do tempo final da rotina

(SPU_ROUTINE_TIME). Pelo tempo em que o compressor foi desligado, o operador de teste saberá qual foi o problema durante o SMART POWER UP.

Os SPU MMs podem enviar sinais de falha ao SPU FD assim que as falhas forem sendo detectadas, mas o SPU FD vai advertir a falha somente depois (TIME_TO_FD), quando todas as cargas estiverem testadas. O intervalo entre as falhas de alarme consecutivas é definido por TIME_BETWEEN_FAIL (figura 32).

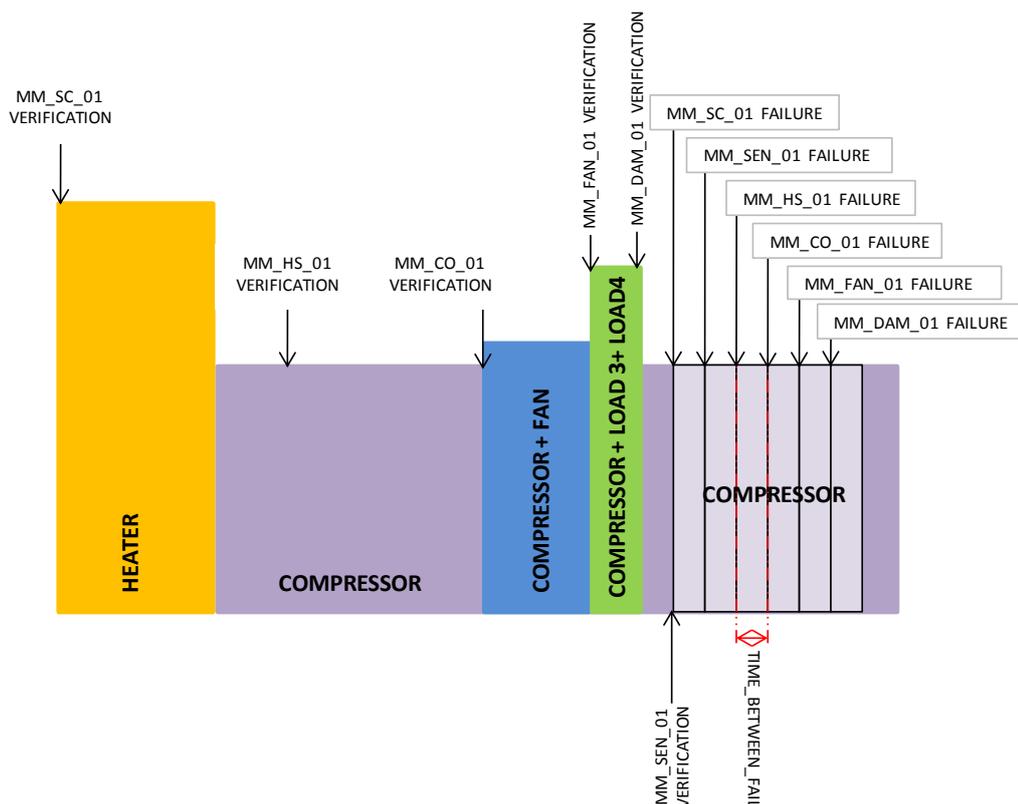


Figura 28. Comportamento do SMART POWER FD (exemplo)

Quando mais de um SPU MM reportar falha, o SPU FD deve priorizar um deles. Essa priorização deve acontecer de acordo com cada plataforma, e deve estar definida no documento de aplicação da plataforma.

5.5: Fail Manager (FM)

O Fail Manager é uma estrutura que já existe em outro programa da Whirlpool, o qual é responsável por gravar o código do SPU MM em falha, em uma memória não volátil. A intenção é de que a informação possa ser recuperada quando as placas voltarem de campo por uma possível falha.

Capítulo 6: Conclusões e Perspectivas

6.1: Importância do trabalho e Próximos passos

A Whirlpool possuía um sistema de teste de fim de linha de refrigeradores ultrapassado. Este projeto possibilitou o desenvolvimento de novas rotinas para serem implementadas no *software* da placa de controle e melhorar a validação do sistema, através de soluções simples e de baixo custo.

Espera-se que com a utilização do SMART POWER UP, a validação dos refrigeradores seja mais completa e mais robusta, e que isso ajude a diminuir problemas de falhas “jovens” e também ajude a diminuir o índice de reclamação, aumentando consequentemente a qualidade dos produtos, o que será importante no suporte à estratégia da empresa.

Mesmo atingido o seu objetivo inicial, o SMART POWER UP está aplicado a apenas uma plataforma dentro da Whirlpool, portanto a análise das rotinas em outras plataformas se faz necessária.

Um teste piloto no *software* final é primordial para concluir o projeto e garantir sua robustez.

Por fim, a equipe de Controls da Whirlpool North America gostou da projeto, por isso seria interessante entender a sua aplicação também na manufatura americana.

6.2: Considerações finais

Com a conclusão do projeto, posso dizer que fiquei feliz e satisfeito pelo resultado alcançado. Por mais que o projeto fosse desafiador para ser desenvolvido dentro de uma multinacional desse porte e para o contexto de aprendizagem e de poucos recursos que eu me inseria, foi uma grande vitória percorrer todos os caminhos. As batalhas do dia a dia foram aos poucos sendo vencidas, os problemas

sendo resolvidos e o projeto foi moldado aos poucos e de acordo com a minha aprendizagem e serenidade.

Cresci muito pessoalmente, aprendi a lidar com situações inesperadas e principalmente a lidar melhor com as pessoas. Tive que ter desenvoltura para não perder a credibilidade muitas vezes nas reuniões, além de me manter autoconfiante e motivado o tempo todo, acreditando no meu potencial e no sucesso do projeto.

Bibliografia:

[1] “Whirlpool Latin America”. Disponível em <http://www.whirlpool.com.br/>

Acessado em julho de 2013.

[2] DINIZ, M. CREPALDI, B. “Whirlpool começa contagem regressiva para comemorar 100 anos”. Disponível em <http://www.whirlpool.com.br/Imprensa/EntryId/84/Whirlpool-comeca-contagem-regressiva-para-comemorar-100-anos.aspx>

Acessado em julho de 2013.

[3] TOLEDO, J. AMARAL, D. “FMEA – Análise do tipo e efeito de falha”. GEPEQ, DEP, UFSCar

[4] RODRIGUES, Marcus Vinicius. Ações para a qualidade: GEIQ, gestão integrada para a qualidade: padrão seis sigma, classe mundial. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004

[5] HILD, C. SANDERS, D. ROSS, B. “Quality Engineering 12(1), 1999-2000

[6] “Design of Experiment (DOE)”. Disponível em <http://www.isixsigma.com/tools-templates/design-of-experiments-doe/>

Acessado em julho de 2013.