

FELIPE MENDES CARDOSO CARVALHO

SISTEMA DE CONTROLE DE ALIMENTAÇÃO DE SILOS (SCAS)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase
em Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Dennis Brandão

São Carlos
2009

In Memoriam

Ao meu querido pai que por vinte e três anos foi meu melhor amigo, meu maior professor e irmão e que sem a sua presença, mesmo que em pensamento, eu não enxergaria razão para evoluir como homem e profissional.

Amigo quando dividiu comigo minhas conquistas e minhas derrotas, as alegrias e os dissabores. Professor quando me inspirou e me ajudou a perceber que o verdadeiro engenheiro faz muito com o pouco que tem. Irmão pela ligação afetiva, pelas brigas e companhia em todos os momentos da minha vida. E homem a quem tenho uma dívida eterna de gratidão e que sempre será o meu verdadeiro e único tutor.

Pai, concluo este curso de engenharia te dizendo o meu muito obrigado!

Agradecimentos

Principalmente a minha mãe, que sempre esteve por mim onde quer que fosse e a minha irmã Juliana pela sua amizade incondicional. A todos os meus amigos que me seguraram nos momentos difíceis sejam os da faculdade, sejam os de infância de Uberaba. A todos meus professores desde o primeiro dia de aula na infância até o último dia de faculdade. A todas as pessoas que passaram pela minha vida deixando sempre algo de bom e um ensinamento. Em especial o meu orientador e amigo Dennis Brandão que fez parte dos meus cinco anos de faculdade seja nas salas de aula, no laboratório, nos cursos extracurriculares, nas viagens didáticas, iniciação científica e principalmente no momento em que mais precisei de ajuda, o meu TCC.

Em especial aos meus colegas de trabalho Rhafael Pansani Godinho e Laura Rita Maria pela amizade, parceria e profissionalismo.

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	A Indústria de Fertilizantes	1
1.2	No Brasil	1
1.3	Previsão	3
2	Formulação Detalhada da Pesquisa	5
3	Método Experimental	13
3.1	Técnicas e Ferramentas Utilizadas	13
3.2	O Sensor de Nível	19
3.3	O SCAS	22
3.3.1	Interligação.....	23
3.3.2	Botões e Menus.....	24
3.3.3	Possíveis Causas de Falhas	29
3.3.4	Manutenção e Limpeza.....	30
4	Resultados.....	31
5	Conclusões.....	32
6	Referências Bibliográficas	33

Lista de Figuras

Figura 2.1 Elevador de Canecas utilizado na indústria de fertilizantes [4]	5
Figura 2.2 Unidade de Mistura de uma indústria de fertilizantes.	6
Figura 2.3 Alimentador com saída tubular de uma unidade de mistura.	7
Figura 2.4 Bocas de entrada dos silos a serem alimentados na superfície plana.....	7
Figura 2.5 Conjunto de silos de fertilizantes.....	8
Figura 2.6 Sensor de nível por infravermelho.....	10
Figura 2.7 Sensor de nível capacitivo	10
Figura 2.8 Sensor de nível por rádio freqüência – funcionamento e instalação.....	11
Figura 3.1 Transformador de corrente 50/5 A usado no projeto	15
Figura 3.2 Montagem do sensor de presença no sistema do alimentador de silos.....	16
Figura 3.3 Placa de encaixe dos sensores de presença e haste metálica para atuação dos mesmos	17
Figura 3.4 Diagrama unifilar dos contatores para inversão de fase do motor de indução	18
Figura 3.5 Diagrama unifilar de comando dos contatores evidenciando o intertravamento entre eles.....	19
Figura 3.6 Construção da carcaça do sensor de nível com a haste em inox para fixação no corpo do silo.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 3.7 Parte interna do sensor de nível pendular.....	21
Figura 3.8 Parte interna do sensor de nível pendular com o pêndulo interno removido em destaque.....	22
Figura 3.9 Painel de Controle do SCAS.....	22
Figura 3.10 Principal do SCAS com legenda de símbolos	26
Figura 3.11 Menu Cadastro de Matéria Prima do SCAS.	27
Figura 3.12 Menu Silos em Operação do SCAS.	27
Figura 3.13 Menu Corrente Elevador do SCAS.....	28
Figura 3.14 Partes internas do SCAS	Error! Bookmark not defined.

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 Resultado da Privatização do Setor de Fertilizantes (Em US\$ Milhões) [2].	2
Tabela 1.2 Receita por Empresa (Em US\$ Milhões) [2].	2
Tabela 1.3 Projeções da Demanda, Importação, Estoques e Produção de Fertilizantes – 2007/08 a 2015/16 (mil toneladas) [3]	4

Lista de Gráficos

Gráfico 1.1 Consumo Potencial de Fertilizantes [2].....	2
Gráfico 3.1 Curva da variação do torque em função da velocidade angular em um motor de indução [5].....	14

Lista de siglas

<i>IHM</i>	Interface Homem-Máquina.
<i>NPK</i>	Nitrato – Fósforo – Potássio (Composição do Adubo).
<i>SCAS</i>	Sistema de Controle Automático de Silos.
<i>CLP</i>	Controlador Lógico Programável.
<i>PIC</i>	Controlador Integrado de Periféricos.
<i>DAP</i>	Fosfato Diamônico.
<i>MAP</i>	Fosfato Monoamônico.
<i>GNL</i>	Gás Natural Liquefeito.

Resumo

Este trabalho de conclusão de curso visa proporcionar ao cliente uma alternativa mais e econômica às existentes na indústria para o controle de alimentação de matéria prima em silos industriais. No caso específico da aplicação proposta por esse projeto, o Sistema de Controle de Alimentação de Silos (SCAS) é usado na indústria de fertilizantes e tem por objetivo obter um maior controle do processo, além de ser um equipamento mais robusto e preciso. O sistema como um todo é composto de sensores de nível, sensores de presença por indução magnética, placa micro controlada com entradas analógicas, entradas digitais e saídas digitais. Mediante as leituras das entradas do sistema, corrente de *setpoint* do motor do elevador e opções de comando do usuário, o micro controlador atua no controle do sentido de rotação do motor do distribuidor de matéria prima e no comando de parada do mesmo, alimentando o silo desejado. As análises técnicas e econômicas tornam viável a aplicação do projeto, diminuindo o custo final do produto industrializado, auxiliando a empresa a se tornar mais competitiva no mercado brasileiro.

Palavras-chaves: controle de alimentação, silos, sensores de nível, sensores de presença, SCAS, fertilizantes.

Abstract

This conclusion work aims to provide clients a more economic alternative than the ones already available in industries to control the raw material feeding of silos. In the specific case of the proposed application of this project, the Automatic Silos Feeding Control System (SCAS) is used in the fertilizer industry field and has the objective of obtaining a greater control of the process and also being a more robust and precise. The system is composed by level sensors, magnetic induction presence sensors, microcontroller board with analog inputs, digital inputs and digital outputs. Through the system's input reading, elevator's motor set point current and user's command options, the microcontroller acts in the rotation sense of the feeder's motor, feeding the desired silo. The technical and economical analyses make feasible this project, lowering the final product cost helping enterprise to compete in the Brazilian market.

Keywords: feeding control, silos, level sensors, presence sensors, SCAS, fertilizers.

1 Introdução

1.1 A Indústria de Fertilizantes

O uso de fertilizantes teve um decréscimo significativo após os anos de 1988/89, quando atingiu a marca de 145,6 milhões de toneladas. Essa diminuição perdurou até os anos de 1994/95 quando, novamente, houve registro de aumento. Esse novo panorama, apesar de discreto, significou uma mudança nos rumos da indústria de fertilizantes no mundo [1]. Muitos fatores político-econômicos no leste europeu e na chamada eurásia tinham influenciado negativamente o uso e a produção de fertilizantes. Esses fatores negativos foram contrabalanceados pelo crescimento no uso de fertilizantes no mercado Asiático. A partir de 1994, o declínio dos indicadores europeus havia terminado e registrou-se um aumento de 2% em relação ao ano anterior. Além disso, os países emergentes de Ásia, América Latina e Oceania ajudaram a impulsionar o mercado de fertilizantes.

1.2 No Brasil

Atualmente, o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, atrás apenas de China, Índia e EUA. A indústria brasileira do ramo começou em meados de 1940 dedicando-se à mistura *NPK*. Entre as empresas que hoje são consideradas grandes, Trevo, Quimbrasil, IAP, Manah, Fertisul entre outras, já atuavam no início dos anos 50 [2].

A matéria prima era quase totalmente proveniente de importações até a década de 60, pois a produção local restringia-se à exploração de uma mina de fosfato pertencente à Serrana (hoje do Grupo Bunge), e às unidades de amônia, ácido nítrico, nitrato de amônio e nitro cálcio da Petrobras, além de alguns produtores pioneiros de superfosfato simples (single super phosphate – SSP), como: Elekeiroz (1949), Fosfanil (1952), Quimbrasil (1954), CRA (1958) e Ipiranga – Fertisul [2].

A partir de 70, a indústria experimentou um novo panorama econômico. Por meio do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), que englobou o I Plano Nacional de Fertilizantes, o Estado procurou reduzir a dependência externa, elevando a participação da produção nacional na oferta total de produtos finais. Os maiores investimentos foram na produção de matérias-nitrogenadas e fosfatadas, alavancados pelo aumento no preço do petróleo.

A abertura econômica do setor acabou por provocar a privatização de grande parte das empresas nos anos de 1992/93/94. A Tabela 1.1 mostra o resultado das privatizações do setor. Esse processo fortaleceu algumas empresas e favoreceu a incorporação de algumas empresas por outras. Atualmente, as principais empresas do setor e seus faturamentos, podem ser conferidos na Tabela 1.2.

EMPRESA	DATA	RECEITA	DÍVIDAS TRANSFERIDAS	RESULTADO	ADQUIRENTE
Ultrafertil	24.6.1993	205,6	20,2	225,8	Fosfertil
Fosfertil	12.8.1992	182,0	44,0	226,0	Fertifós
GoiASFertil	08.10.1992	13,1	9,3	22,4	Fosfertil
Arafertil	15.4.1994	10,8	1,8	12,4	Serrana (Bunge)
Indag	23.1.1992	6,8	-	6,8	IAP (maior acionista, com 35% do capital)

Tabela 1.1 – Resultado da Privatização do Setor de Fertilizantes (Em US\$ Milhões) [2].

Fonte: Matos e Oliveira (1996) e Taglialegna et al. (2001).

	2003		2004		2005		2006		2007
Bunge	4.389.680	Bunge	5.829.221	Bunge	4.690.800	Bunge	3.936.654	Bunge	5.522.825
Fertipar	1.425.600	Mosaic	1.689.020	Mosaic	1.383.300	Heringer	1.425.969	Mosaic	2.614.952
Heringer	1.193.700	Heringer	1.571.500	Ultrafertil	1.336.800	Ultrafertil	1.325.569	Fosfertil ³	2.421.567
Ultrafertil	1.147.164	Trevo	1.549.500	Heringer	1.285.300	Mosaic ¹	1.217.608	Heringer	2.260.800
Trevo	1.137.700	Ultrafertil	1.388.000	Trevo	1.200.300	Yara ²	1.055.414	Yara	2.123.408
Fosfertil	783.259	Fosfertil	904.700	Fosfertil	720.700	Fosfertil	831.076	Copebrás	803.499
Copebrás	575.106	Copebrás	769.408	Copebrás	701.200	Copebrás	701.173	Fertipar	791.000
Fertibrás	472.400	Fertibrás	537.100	Fertipar	646.200	Milenia	690.796	Milenia	747.200
Iharabrás	240.759	Fertipar	621.200	Fertibrás	398.000	Fertipar	502.600	Galvani ⁴	479.300

Tabela 1.2 – Receita por Empresa (Em US\$ Milhões) [2].

Fonte: Abiquim e Lafis.

¹ A Cargill se tornou Mosaic em 2004.

² A Trevo foi adquirida pela Yara em 2006.

³ A Ultrafertil foi incorporada pela Fosfertil em 2007.

⁴ Consolidado.

Atualmente, o mercado de fertilizantes vislumbra uma expansão e readequação de plantas já existentes. Não obstante, em países com abundância de matérias-primas alternativas como o GNL e a gaseificação do carvão, a indústria cresce de forma significativa. Juntamente com Índia e China, o Brasil é um mercado cobiçado pelos grandes players internacionais do setor, em virtude do potencial de expansão da atividade agrícola.

O Gráfico 1.1 apresenta uma estimativa otimista do crescimento dos mercados supracitados.

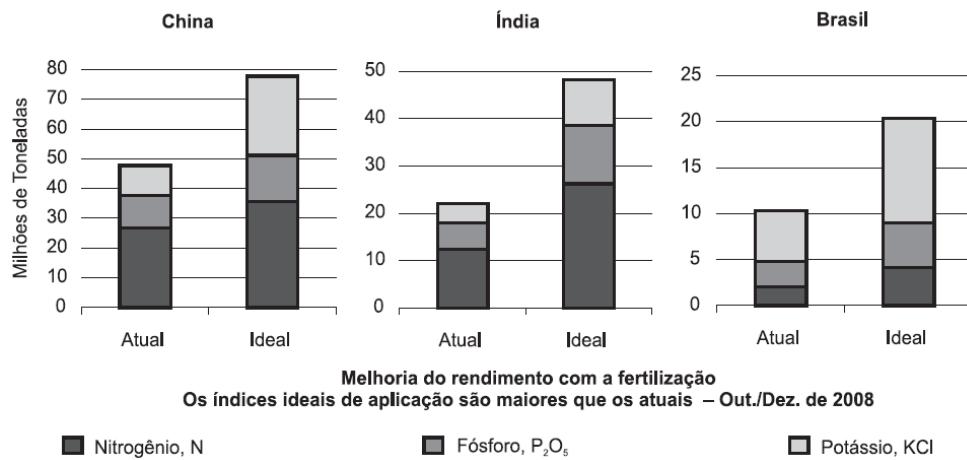


Gráfico 1.1 – Consumo Potencial de Fertilizantes [2].

Fonte: IPNI, Fertecon, PotashCorp.

1.3 Previsão da Demanda por Fertilizantes

Inúmeras organizações nacionais e internacionais realizaram estudos de prospecção sobre a demanda de fertilizantes, tanto mundial como nacional. Em 2007 foram produzidas internamente, 9.670 mil toneladas de adubos e importadas cerca de 17.300 mil toneladas, a quantidade entregue foi de 24.609 mil toneladas; havendo ainda em agosto um estoque de passagem de 2.379 mil toneladas [3].

Haverá um incremento na importação de fertilizante, passando a atender cerca de 72% da demanda. Assim a dependência já existente do agronegócio brasileiro, para este fator crítico, deverá sofrer um aumento considerável e a produção nacional de commodities estará dependente da importação de fertilizantes sendo que somente 28% da necessidade de adubo deverá ser atendida pela produção nacional, o que será sem dúvida um fator de risco para a competitividade do setor agropecuário [3].

Ano	Oferta Projetada				Demanda Projetada	
	Estoque Inicial	Produção Nacional	Import.	Oferta	Consumo	Estoque Final
2007/08	-	9.670	17.300	26.970	24.609	2.379
2008/09	2.379	9.700	16.568	28.647	26.047	2.600
2009/10	2.600	9.700	17.740	30.040	27.340	2.700
2010/11	2.700	9.700	18.683	31.083	28.283	2.800
2011/12	2.800	9.700	19.883	32.383	29.483	2.900
2012/13	2.900	9.700	20.967	33.567	30.567	3.000
2013/14	3.000	9.700	22.014	34.714	31.614	3.100
2014/15	3.100	9.700	22.747	35.547	32.347	3.200
2015/16	3.200	9.700	23.385	36.285	32.985	3.300
2016/17	3.300	9.700	23.902	36.902	33.602	3.300
2017/18	3.300	9.700	24.493	37.493	34.093	3.400

Tabela 1.3 – Projeções da Demanda, Importação, Estoques e Produção de Fertilizantes – 2007/08 a 2015/16 (mil toneladas) [3].

As conclusões do panorama supracitado nos dão uma idéia da necessidade pelo desenvolvimento da indústria brasileira de fertilizantes. O aumento na capacidade produtiva brasileira traria benefícios ao mercado interno do agronegócio, fator crucial para o desenvolvimento econômico do Brasil. E é nesse contexto que se encaixa a motivação para elaboração do presente trabalho de conclusão de curso.

O desenvolvimento de novas tecnologias e alternativas econômicas frente a outras mais custosas, podem dar fôlego às indústrias no que diz respeito ao preço de produção e consequentemente no preço repassado ao consumidor além de garantir boa performance e robustez. O SCAS visa substituir tecnologias caras para uma aplicação relativamente simples como é o caso do sistema de distribuição de matéria-prima. Atualmente, as soluções encontradas nas indústrias do país para unidades de distribuição de materiais são ineficientes chegando às vezes a parecer primitivas ou, por comodidade, algumas muito custosas como a aplicação de CLPs dedicados.

Concluindo, a validade do desenvolvimento do presente trabalho se faz coerente uma vez que a aplicação do mesmo traduzirá ao cliente final uma diminuição no custo de produção por diminuir o custo de manutenção de um sistema mais robusto, o custo do equipamento em si, o custo de mão de obra, já que a automatização de unidades diminui a demanda por mão de obra. Além disso, a viabilidade do projeto é comprovada, uma vez que o mesmo foi desenvolvido para atender uma empresa grande do setor, localizada no nordeste do país e o sucesso do mesmo pode determinar a insalação do produto em outras plantas por todo o país.

2 Formulação Detalhada da Pesquisa

Dentre as muitas unidades que compõe uma indústria de fertilizantes, a que é alvo do estudo presente é comumente chamada de Unidade de Mistura. Os materiais são depositados em armazéns por caminhões que os trazem de outras áreas como o Terminal de Rochas em alguns casos.

As matérias primas podem variar de acordo com o objetivo de produção de cada empresa mas, usualmente, encontramos o MAP, DAP, uréia, entre outros, e são depositados em baías de modo que fique claro ao operador de tratores onde buscar o material em questão. Daí, um trator colhe o material da baia e o transporta até um funil de carga que leva a uma esteira transportadora. O material é então levado até um elevador de canecas controlado por um motor de indução que tem por objetivo levar o material até uma outra esteira, mais elevada que a anterior. O elevador pode ser visto na Figura 2.1. Da segunda esteira, em um caso genérico, o material é despejado em um silo com uma saída tubular inclinada que despeja o material no silo que se deseja alimentar para então ser colhido da maneira conveniente, que foge ao escopo deste projeto. A unidade pode ser exemplificada pela Figura 2.2 abaixo.



Figura 2.1 – Elevador de Canecas utilizado na indústria de fertilizantes [4].

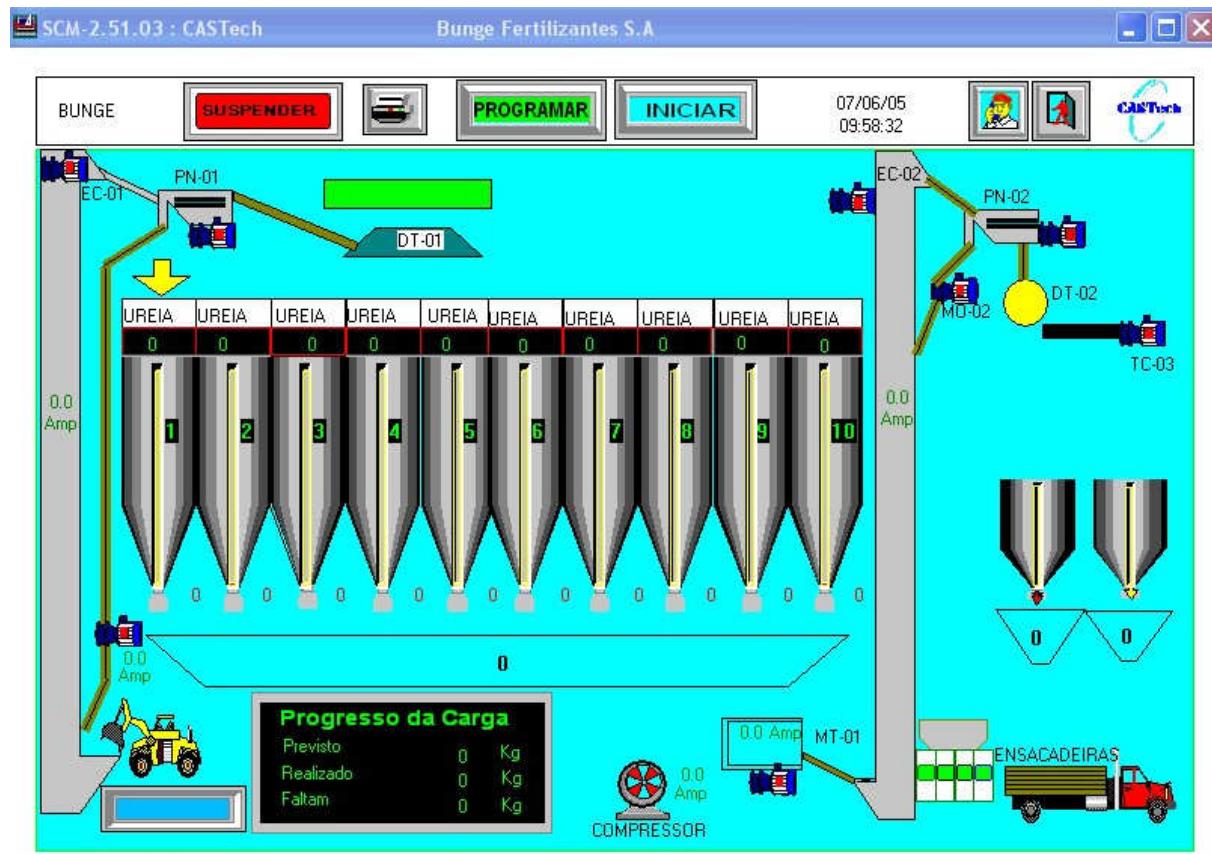


Figura 2.2 – Unidade de Mistura de uma indústria de fertilizantes.

Este alimentador com saída tubular (Figura 2.3) é construído de maneira que a mesma seja controlada por um motor que faz girar circularmente sua boca de modo a alimentar diferentes silos (no caso desta aplicação, oito silos). As bocas de entradas dos silos alimentados são dispostas igualmente espaçadas em uma superfície plana, formando uma circunferência como mostra a Figura 2.4. O objetivo do SCAS é controlar de maneira eficiente e econômica o motor do alimentador. Um exemplo de conjunto de silos de uma indústria de fertilizantes pode ser visto na Figura 2.5.



Figura 2.3 – Alimentador com saída tubular de uma unidade de mistura.



Figura 2.4 – Bocas de entrada dos silos a serem alimentados na superfície plana.



Figura 2.5 – Conjunto de silos de fertilizantes.

Atualmente pode-se encontrar diferentes soluções para o controle do alimentador. A mais comum ainda é a operação manual do alimentador, o que claramente é uma opção econômica e simples mas ineficiente. Neste caso, um grupo de operadores que se situa próximo ao funil da primeira peneira transportadora informa à outro grupo, por meio de um tubo ao estilo “telefone sem-fio”, o material despejado. Este segundo grupo por sua vez, situado próximo ao alimentador, comanda o motor (quando da existência de um) para que o material caia no silo desejado. Esta operação, como pode ser facilmente percebido, é falha e expõe o trabalhador ao contato direto com um material muitas vezes agressivo à saúde humana.

Outra solução muito encontrada na indústria brasileira é a aplicação de CLP dedicados. Nesse caso, o mesmo lê informações vindas de sensores de nível dos silos para interpretar quando é necessário alimentar ou não o mesmo. Além destes sensores, há também os sensores de indução magnética que impedem que o motor continue girando e desloque o alimentador para fora da boca de entrada do silo que se deseja alimentar. O método com o qual o CLP interpreta as entradas e maneja as saídas, depende de vários fatores como o tipo de equipamento, programação utilizada e protocolo comunicação. Além disso, os tipos de sensores utilizados e as condições de utilização variam de acordo com a aplicação desejada.

Além da aplicação de *CLP*, outros controladores podem ser utilizados e manufaturados especificamente para essa aplicação. E é nesse contexto que se encaixa o *SCAS*. O sistema proposto nada mais é que um controlador dedicado e feito exclusivamente para o processo de alimentação de silos industriais e, por esse motivo, consegue ser mais confiável. O conhecimento técnico da área de fertilizantes permite a elaboração de um dispositivo capaz de estar imune a quaisquer eventuais falhas e ser adaptável ao ambiente agressivo do chão de fábrica de uma indústria de fertilizantes.

Como citado anteriormente, o microcontrolador recebe informações dos sensores de presença num disco acima das bocas dos silos e de nível dos silos (níveis altos e baixos), as condições de programação pela *IHM* do *SCAS* e as interpreta de modo a produzir uma saída que controle o sentido de rotação e a duração de atuação do motor do alimentador. Este sistema oferece uma interface simples e eficiente que permite que qualquer operário com um mínimo de conhecimento computacional possa utilizar a plataforma. Além do microcontrolador e da interface homem-máquina, este projeto prevê o desenvolvimento dos sensores de nível para tornar o equipamento ainda mais econômico em relação aos existentes. A escolha por não desenvolver, também, os sensores de presença é pelo fato de a tecnologia para tal ser um pouco mais complexa e não ser viável economicamente e por isso, quando da implantação do *SCAS*, fornece-se os sensores comprados de uma terceira empresa escolhida mediante custo/benefício.

No que diz respeito aos sensores de nível utilizados em silos da indústria de fertilizante encontra-se mais frequentemente os tipos infravermelho, por rádio-frequência, capacitivos.

No sensor por infravermelho mostrado na Figura 2.6, o dispositivo é instalado no silo de modo que o material, quando alcançar o mesmo, interrompa o feixe de luz, traduzindo a ocorrência em sinal de nível digital alto ou baixo para a leitura posterior. A desvantagem deste tipo de sensor reside na dificuldade de manuseio e por, muitas vezes, ocorrer erro na atuação do sensor devido acúmulo de material (geralmente muito agregante) obstruindo a emissão da luz.



Figura 2.6 – Sensor de nível por infravermelho.

O sensor capacitivo mostrado na Figura 2.7, é ativado quando o material entra em contato com sua superfície. Mais uma vez, pela característica agregante de certas matérias-primas, o sensor em questão torna-se ineficiente em alguns casos.



Figura 2.7 – Sensor de nível capacitivo.

Já no caso do dispositivo por rádio frequência, o custo do equipamento torna esta escolha indesejável. O funcionamento e instalação deste sensor podem ser vistos na Figura 2.8 abaixo.

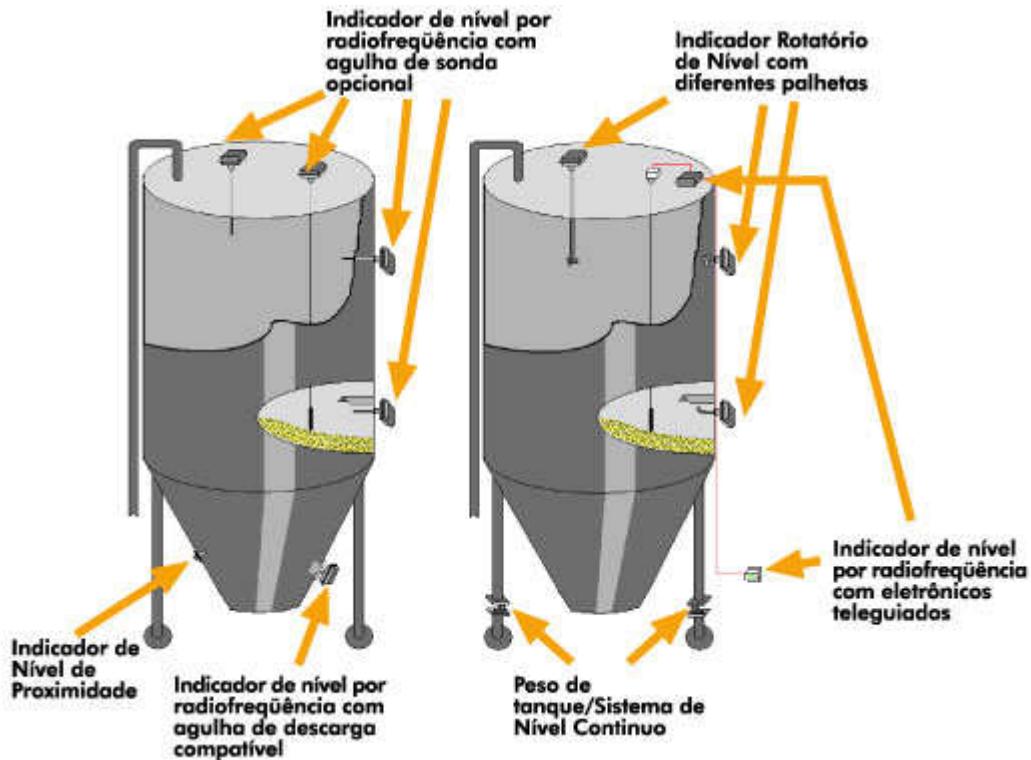


Figura 2.8 – Sensor de nível por rádio freqüência – funcionamento e instalação.

A solução apresentada pelo projeto aqui exposto, visa sanar as fragilidades dos outros tipos de sensores além de garantir um bom funcionamento a um custo o mais reduzido possível. O sensor desenvolvido é baseado no contado entre dois condutores. Um pêndulo livre metálico entra em contato com a carcaça do sensor (selado por um tubo de PVC enganchado a uma haste de aço inox presa a parede do silo) quando inclinado. Esta inclinação se dá pela força exercida pelo material que enche o silo, quando o mesmo atinge o nível do sensor, uma vez que o tubo de PVC tem dois graus de liberdade para movimentar-se em relação à haste de apoio. A instalação deste deve ser feita através de uma placa parafusada na parede do silo na altura desejada que segura a haste de apoio para o tubo que contém o sensor.

Assim sendo, pode-se verificar a ausência de qualquer circuito eletrônico e/ou elétrico interno ao sensor, lançando mão apenas de um contato, como que se uma chave estivesse atuando. A simplicidade do mesmo se traduz em custo baixo, fácil manutenção e alta durabilidade por não haver desgaste eminente. Além do mais, este dispositivo foi elaborado e projetado especificamente para a indústria de fertilizante o que, mais uma vez, torna-se uma alternativa mais atraente a este tipo de consumidor já que os outros, são para aplicações mais genéricas.

Portanto, a união do sistema microcontrolado para atuação do motor e do sensor de nível desenvolvido mais que evidencia a viabilidade do equipamento por ser um produto voltado especificamente para o ramo de fertilizantes.

3 Método Experimental

Para a resolução do problema apresentado, levam-se em conta muitas variáveis. O conhecimento técnico de possíveis respostas nem sempre é fator determinante do sucesso de uma solução em engenharia. Que materiais usar, partir de que ponto, de que ferramentas lançar mão e que recursos técnicos aplicar são perguntas que devem ser feitas para que se possa iniciar qualquer solução de um problema. Primeiramente, faz-se um estudo detalhado do problema encontrado e levanta-se possíveis alternativas de aproximação do resultado. Não é suficiente resolver a equação mas, sim, apresentar resultados que satisfaçam às reais necessidades do cliente, que espera obter um equipamento fácil de usar, de simples manutenção e que responda qualitativamente quando solicitado.

No caso específico deste projeto, a solução encontrada parte de conhecimento prévio de outras alternativas como o uso *CLP* e outros controladores dedicados que foram apresentadas na seção anterior.

A elaboração desta iniciativa divide-se em duas frentes: o desenvolvimento do controlador e o desenvolvimento do sensor de nível, concomitantemente.

3.1 Técnicas e Ferramentas Utilizadas

A partir do conhecimento do funcionamento da unidade de mistura, avaliam-se quais os elementos passíveis de serem controlados ou atuados. Em geral, o controle de motores em uma indústria é muito importante para que se garanta um funcionamento adequado da planta. A leitura de informações provenientes de motores é um fator crucial na análise de desempenho de equipamentos de uma fábrica e, através disso, pode-se tomar algumas decisões com respeito ao ajuste de malhas por exemplo.

Para ilustrar isto, pode-se utilizar um parâmetro de análise referente aos motores que é a corrente do mesmo. Sabe-se que em um motor de indução, como é o caso do alvo desta análise, a corrente varia de acordo com as condições de operação do mesmo e, por sua característica, se o torque resistente aumenta, o torque do motor deve aumentar até que este se iguale ao primeiro. Para se manter constante a velocidade angular de um motor de indução, deve-se aumentar a corrente do mesmo quando de um aumento no torque, ou

seja, um aumento na carga [5]. O Gráfico 3.1 mostra o comportamento do torque em relação à velocidade angular.

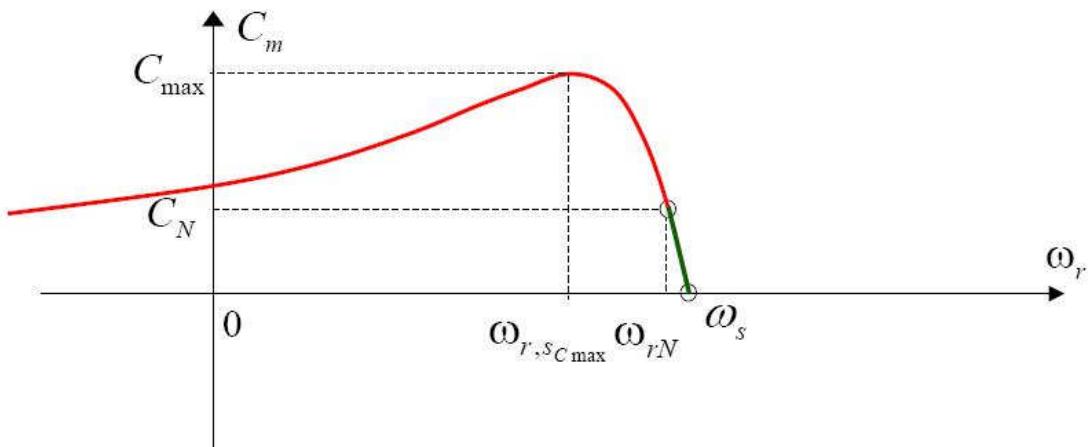


Gráfico 3.1 – Curva da variação do torque em função da velocidade angular em um motor de indução [5].

Este comportamento é evidenciado no motor do elevador de canecas. Quando o material é colhido pelas canecas, o peso total do sistema aumenta, aumentando a carga do motor. Com esse incremento de carga, o torque resistente aumenta fazendo com que a velocidade angular sofra uma diminuição instantânea. Para que a velocidade volte ao patamar anterior e o processo não sofra nenhuma alteração, há uma variação na corrente de modo que o torque também aumente, uma vez que esses dois parâmetros são diretamente proporcionais.

Sabe-se que o alimentador não pode se movimentar quando o material está sendo despejado nele pela esteira, que por sua vez recebe material do elevador e, portanto, o conhecimento da corrente drenada pelo motor é essencial para o controle do alimentador. Para que o sistema reconheça o valor de corrente referente ao momento em que o elevador está em operação é necessário se fazer uma tomada de medições nesta corrente em diferentes estados de operação do motor do elevador, seja ele em vazio, em plena carga e a meia carga. Em geral, quando o elevador está carregado, a corrente medida gira em torno de 21 A, ou seja, o motor do alimentador deve estar parado quando a corrente do motor do elevador for superior a este valor. Para isso, o micro controlador deve interpretar este sinal analógico com uma margem de segurança e desarmar o motor do alimentador.

O problema encontrado aqui é que o valor de corrente é muito elevado para ser lido pelo micro controlador escolhido, que é o PIC. Além disso, a placa de circuito impresso

deve estar isolada do circuito do motor com a finalidade de resguardar o SCAS de um eventual pico de corrente e tensão que venha a danificar o motor e consequentemente o circuito do sistema. Para isto, usa-se um transformador de corrente que além de isolar os dois circuitos, ainda fornece uma corrente da ordem de 2 a 5 A para o circuito. A Figura 3.1 mostra o transformador de corrente utilizado, que tem relação de transformação 50/5A.



Figura 3.1 – Transformador de corrente 50/5 A usado no projeto.

Mesmo com a utilização do transformador, há ainda outra situação a ser considerada. O PIC interpreta sinais de tensão como níveis altos ou baixos e não corrente. Assim, deve-se fazer com que a corrente de entrada no circuito passe por um resistor para que se converta o sinal de corrente em sinal de tensão, posteriormente lido pelo micro controlador. Esta corrente deve ser inserida como setpoint pela interface homem máquina do SCAS e, geralmente, é de 21 A. Assim, como a tensão nos terminais do PIC deve ser por volta de 5 V para nível alto e o transformador abaixa a corrente em dez vezes, o resistor escolhido deve ser de mais ou menos 2,5 ohms. Além disso, um potenciômetro ajusta a faixa de operação em casos onde haja necessidade de aumentar a resistência por onde passa a corrente.

Esta lógica supracitada permite, através do micro controlador, um intertravamento entre os dois motores de modo que não funcionem concomitantemente, fato este que resultaria em vazamento de material para fora dos silos, comprometendo a distribuição do material e gerando desperdício.

Mais adiante na linha da mistura outro problema é garantir que o motor do alimentador o posicione no lugar certo para que a boca de saída do mesmo esteja em concordância com a boca de entrada do silo a ser alimentado. Como se sabe, existem oito silos (o SCAS é projetado para dez silos como forma de garantir o funcionamento em várias indústrias) e, portanto, oito posições possíveis de parada do motor. Para cada boca de entrada de silo existe um sensor de posição correspondente. A montagem é feita da seguinte forma. Uma placa circular é colocada acima das bocas, elevada a uma altura específica. O centro das duas circunferências é coincidente de modo que o sensor esteja posicionado na mesma linha do centro da boca de entrada do silo correspondente. Se uma reta for traçada passando pelo centro do sensor e pelo centro da circunferência, o centro da boca do silo também estará inserido nesta mesma reta. Figura 3.2 ilustra esta situação.

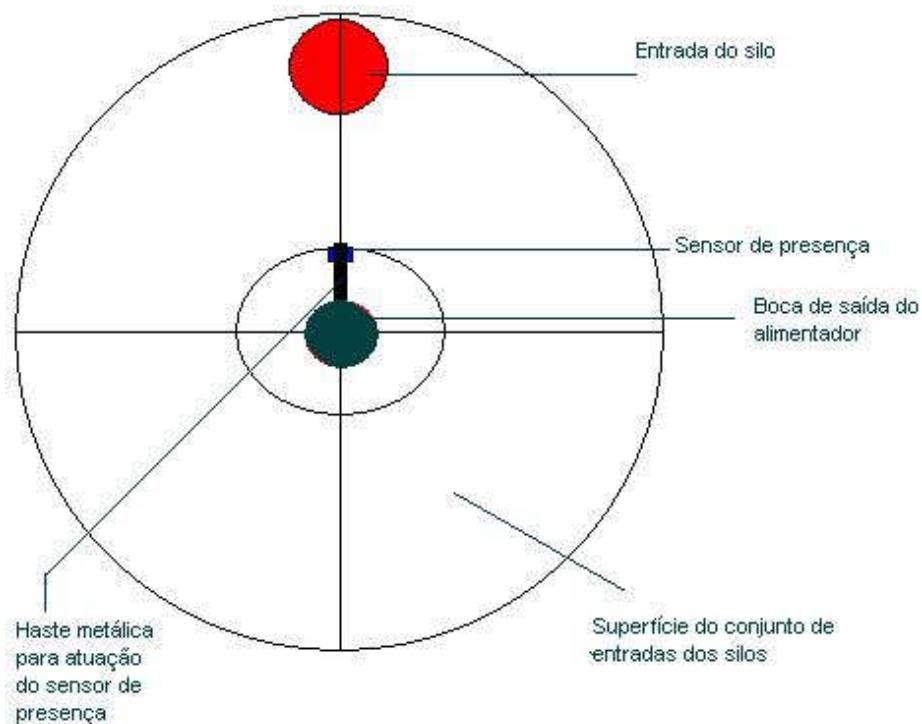


Figura 3.2 – Montagem do sensor de presença no sistema do alimentador de silos.



Figura 3.3 – Placa de encaixe dos sensores de presença e haste metálica para atuação dos mesmos.

Sabe-se que o sensor de posição é por indução magnética e para que o mesmo atue deve-se colocar um material metálico em proximidade com o terminal do sensor. Para tanto, uma haste metálica é soldada no tubo de saída do alimentador de modo a, também, estar inserido na reta traçada entre os dois centros citados anteriormente e assim, quando o alimentador estiver posicionado de acordo com o previsto, a haste metálica é percebida pelo sensor de presença que ativa o nível alto em sua saída que posteriormente é lida pelo SCAS. A partir desta leitura, o sistema reconhece que o alimentador está alinhado com a boca de entrada do silo a ser alimentado e deve permitir que a alimentação seja ativada pelo motor do elevador, já comentado.

Pela característica da disposição das bocas de entrada dos silos, têm-se duas possibilidades de sentido de giro do motor. Caso o operador decida alimentar um silo que esteja à direita do previamente alimentado, o motor deve girar no sentido horário e caso o próximo silo esteja à esquerda do anterior, o motor deve girar no sentido anti-horário. E essa decisão de inversão ou não deve ser tomada pelo PIC. Para isso, usa-se um conjunto de dois relés que, através da lógica de programação do microcontrolador, libera ou não em sua saída um sinal de 110 V. Este sinal é então usado como comando de um contator. Cada relé então é responsável por acionar uma sequência de fase no motor, já que este é trifásico. A inversão de duas fases fica a cargo de um contator, ou seja, um mantém a sequência normal de fases e o outro inverte duas fases, como mostra a Figura 3.4 e a

Figura 3.5. Os contatos para o movimento para a direita e para a esquerda estão intertravados entre si através de seus contatos auxiliares (abridores) evitando assim curto-circuitos.

A reversão automática é utilizada para motores acoplados à máquina que partem em vazio ou com carga e esta reversão pode-se dar dentro e fora do regime de partida. A sua finalidade dentro de determinados processos industriais tem-se necessidade da reversão do sentido de rotação dos motores para retrocesso do ciclo de operação, como o caso deste alimentador.

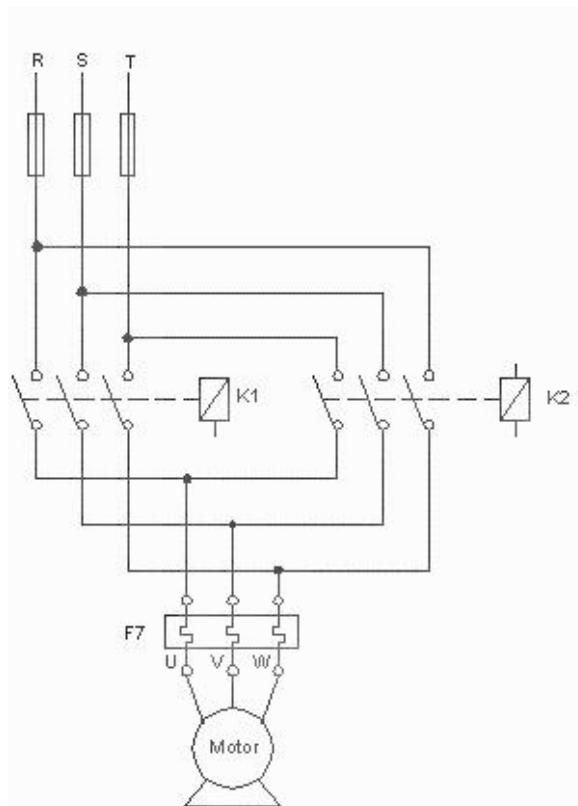


Figura 3.4 – Diagrama unifilar dos contadores para inversão de fase do motor de indução.

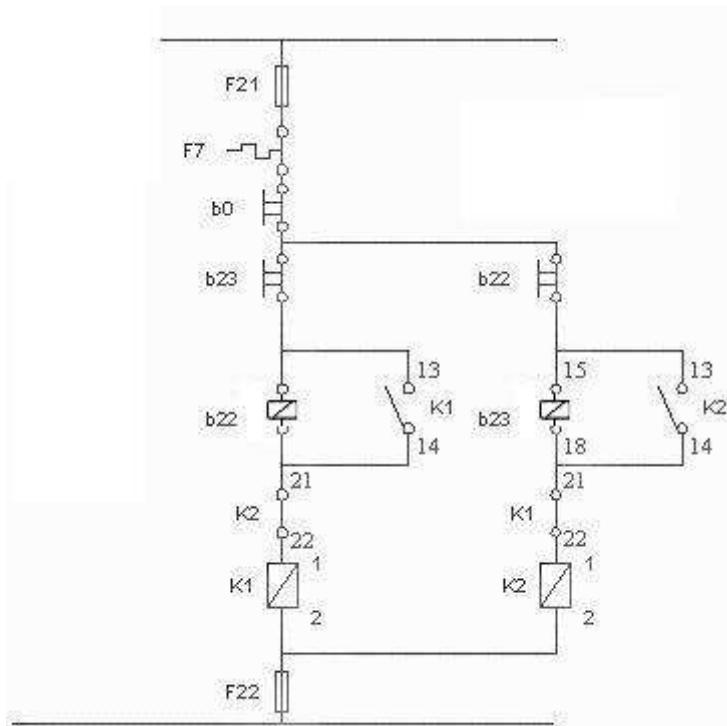


Figura 3.5 – Diagrama unifilar de comando dos contatores evidenciando o intertravamento entre eles.

3.2 O Sensor de Nível

Em se tratando do silo alimentado deve haver o controle da quantidade de material depositado em seu interior. Para esse controle lança-se mão do uso de dois sensores de nível, projetados especificamente para este projeto.

Os sensores até então utilizados pela indústria de fertilizantes se mostraram frágeis às condições abrasivas de certos materiais como a uréia por exemplo. Metais e qualquer outro tipo de material não próprio, tem sua vida reduzida em ambientes adversos ou em contato com materiais corrosivos. Além do mais, certos sensores ficam impregnados com material e perdem seu funcionamento adequado. Assim sendo, fez-se necessário o desenvolvimento de um sensor exclusivo para este projeto de modo que atenda às exigências do cliente e que seja imune às condições a que fique exposto.

Partindo deste princípio, a construção da carcaça do sensor deve ser construída de modo que não haja acúmulo de material em sua superfície. A Figura 3.6 mostra a construção da carcaça do sensor. Observa-se que a tampa inclinada não permite que haja

acúmulo de material uma vez que o ângulo da peça é maior que o ângulo de acomodação do material, ou seja, o mesmo escorrega e não acumula por sobre ele.

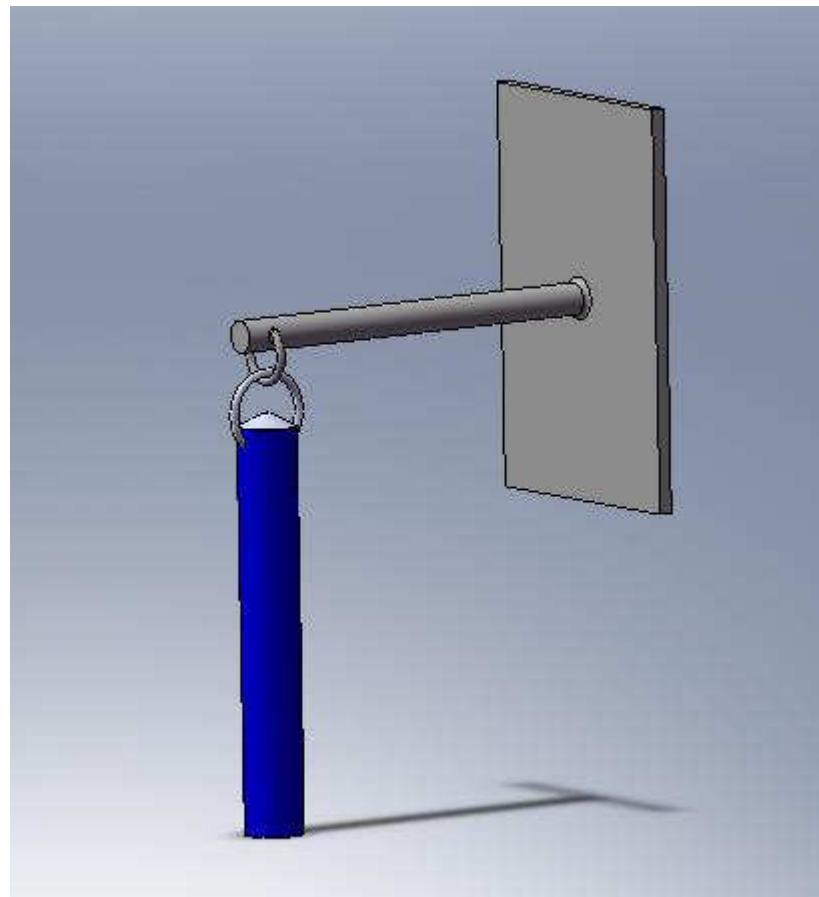


Figura 3.6 – Construção da carcaça do sensor de nível com a haste em inox para fixação no corpo do silo.

Outra característica construtiva desta carcaça é o apoio em uma haste através de dois anéis, permitindo que o sensor se desloque em qualquer direção. Basicamente, o material que é depositado no silo, vai gradualmente se assentando no interior e o nível do silo aumenta. Quando este nível supera a altura inicial do sensor, o mesmo é empurrado e inclina-se, atuando o sensor.

A carcaça do sensor é um cilindro de mais ou menos 20 cm de PVC, um material resistente o suficiente para agüentar o desgaste de abrasão por um tempo suficientemente razoável. A tampa em forma de cone, como citada no parágrafo anterior, evita o repouso de material e é enganchada em uma argola que está em elo com outra argola, esta agora na haste em inox que se prende em uma placa igualmente de inox parafusada ao corpo do silo. Por fora do mesmo, encontra-se a caixa de fiação com bornera para ligação dos fios que vêm do sensor interno ao cilindro de PVC.

Internamente, o sensor é construído da seguinte forma: um cilindro oco metálico condutor tem em seu interior, um pêndulo igualmente condutor. A junção entre o pêndulo e o cilindro é isolada de forma que não há contato condutor entre ambos. Desta maneira, um fio é conectado à carcaça e outro ao pêndulo. Inicialmente, o fio ligado à carcaça está energizado com 12 V e quando do contato entre a mesma e o pêndulo, o sinal é colhido nos terminais do borne na caixa de fiação, que posteriormente é lido pelo microcontrolador. A Figura 3.7 ilustra a parte interna à carcaça que corresponde ao sensor propriamente dito.

Para o projeto mecânico e os desenhos usa-se o programa computacional Solid Works.

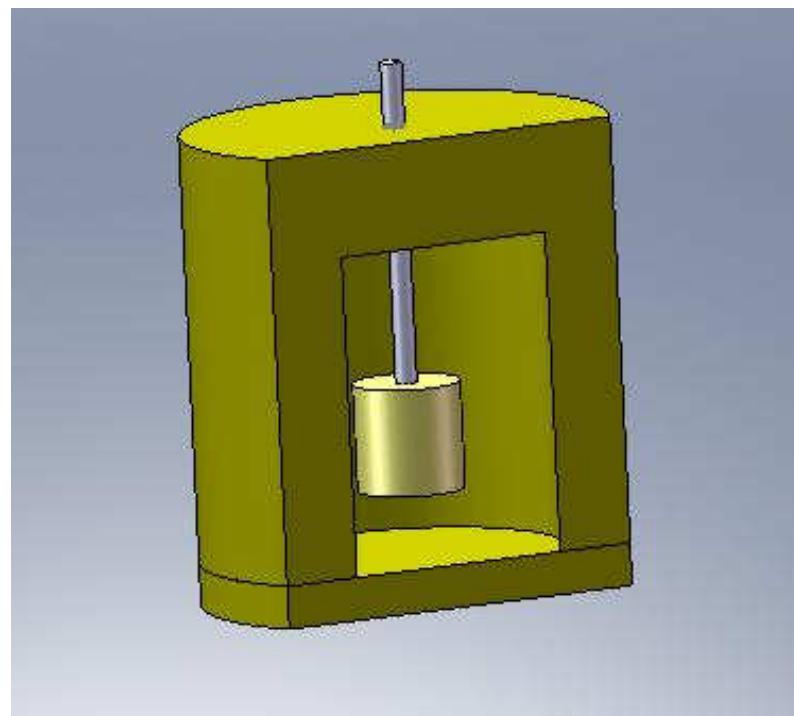


Figura 3.7 – Parte interna do sensor de nível pendular.



Figura 3.8 – Parte interna do sensor de nível pendular com o pêndulo interno removido em destaque.

3.3 O SCAS

A Central de Controle é única para o conjunto de oito ou dez silos e possui duas entradas de dados para informação do nível de cada silo. A Figura 3.9 apresenta o Painel de Controle.



Figura 3.9 – Painel de Controle do SCAS.

Para comandar o sistema existem três botões de controle e dois botões que executam alterações no respectivo menu atual no display.

O procedimento inicial é efetuar o ajuste do setpoint da corrente do elevador, o próximo passo é cadastrar os conteúdos de cada silo pelo menu cadastro de matéria prima. Feito isto, o sistema fica livre para operação, inicialmente em Manual.

No menu principal e modo de controle em Manual, com a posição correta de destino do Distribuidor de Material (DM) no display, aciona-se a tecla SET para ativar a função do Controlador, que definirá conforme escolhido, qual será o destino que o DM tomará.

No modo de operação em Automático, o sistema apenas necessita do ajuste do setpoint feito anteriormente enquanto em Manual, pois em Automático o sistema fica fixo no menu principal e não permite nenhum alteração.

3.3.1 Interligação

O SCAS deve ser instalado na cabine de operação. Temperatura recomendada de operação é de 30°C.

CABO DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA

O Sistema é alimentado por uma tensão de 127V ou 220V.

Os sensores são alimentados por uma tensão de 12V.

O Letreiro é alimentado por uma tensão de 12 V.

CABO DE INTERLIGAÇÃO DO CONTROLADOR AOS SENsoRES

Do controlador, um cabo contendo uma malha de fios conectados a cada sensor de nível instalado no chão de fábrica. Os cabos são conectados em uma estação intermediaria entre o controlador e os sensores de nível, facilitando assim a desconexão em caso de necessidade de manutenção dos mesmos.

CABO DE INTERLIGAÇÃO DO CONTROLADOR AOS SENsoRES POSIÇÃO MOTOR

Do controlador, um cabo contendo uma malha de fios conectados a cada sensor de posicionamento do motor. Os cabos são conectados em uma estação intermediaria entre o controlador e os sensores de posição, facilitando assim a desconexão em caso de necessidade de manutenção dos mesmos.

CABO DE INTERLIGAÇÃO DO CONTROLADOR AO MOTOR

Do controlador, dois cabos interligam uma fonte responsável pela alimentação e controle de direção do motor.

CABO DE INTERLIGAÇÃO DO CONTROLADOR AO LETREIRO (PAINEL)

Do controlador um cabo interliga o letreiro com terminal serial para o controlador e terminal RJ45 para o letreiro.

CABO DE INTERLIGAÇÃO DO CONTROLADOR AO ELEVADOR

Do controlador um cabo interliga o motor do elevador.

A Troca de 127 V / 220 V ou 220 V / 127 V na alimentação, deve ser feita posteriormente a chave 127/220 ser alterada. A chave encontra-se internamente ao painel do SCAS.

3.3.2 Botões e Menus

O painel que controla todo o SCAS possui quatro diferentes menus e cinco botões de controle: (+), (-), AUTO/MANUAL, MENU e SET. A Figura 3.10 mostra o painel.

BOTÕES [+], [-]

Estes botões são utilizados para alterar a posição destino do DM ou alterar valores de cada função do sistema. O botão [+] incrementa o valor da função do menu no display. O botão [-] decrementa o valor da função do menu no display.

BOTÃO [AUTO/MANUAL]

O botão [AUTO/MANUAL] é utilizado para alterar o modo de controle do SCAS.

Quando em Automático, as etapas do processo são feitas completamente sem intervenção do operador. Em Manual, o sistema fica em espera até que se aplique determinado comando de execução ou operação do mesmo.

Na presença de defeito em algum dos sensores de posicionamento do DM, o sistema fica inoperante no modo Automático, e caso o modo de controle esteja rodando em Automático no momento em que tenha ocorrido o defeito no DM o modo de controle será alterado automaticamente para Manual e será informado no display o referido problema. Este botão só deve ser pressionado quando o sistema estiver em repouso e/ou quando no display, estiver a tela do menu de controle de posicionamento do DM.

BOTÃO [MENU]

O botão [MENU] é utilizado para alterar o menu em exibição e também para executar as funções que aparecerão no display indicando qual ação, tal referido botão executará.

BOTÃO [SET]

O botão [SET] é utilizado para executar e confirmar as ações decorrentes de cada menu. No modo de controle Manual e no menu principal este botão é utilizado para alterar a posição destino do motor, ou seja, se nenhuma restrição existir, ele acionará o deslocamento do DM para a nova posição selecionada pelo display.

MENUS

MENU 1 – PRINCIPAL (Figura 3.10)



- █ - Silo Cheio
- █ - Silo Vazio
- █ - Silo Acima do Mínimo
- █ - Posição Atual DM
- █ - Posição Destino DM
- █ - Silo Desativado

Figura 3.10 – Menu Principal do SCAS com legenda de símbolos.

Este é o Menu responsável pelo controle de destino do DM, e contém todas as informações necessárias para a operação do SCAS (conteúdo e estado atual de cada silo).

A posição atual do DM fica constantemente atualizada no display e quando existe um destino diferente da posição atual, é indicada esta posição conforme Fig. 3.10 na linha do display referente à letra “P”.

No canto inferior esquerdo é informado o modo de controle AUTO/MANUAL.

No centro inferior apresenta o conteúdo do silo que se encontra o DM ou caso o destino for diferente da posição atual o material mostrado será o do silo de destino.

Para efetivar as mudanças de posição do DM é necessário pressionar o botão SET para confirmar a operação.

O nível de cada silo se encontra na segunda linha do display indicado pela letra “N” conforme a Figura 3.10.

MENU 2 - CADASTRO DE MATERIA PRIMA (Figura 3.11)

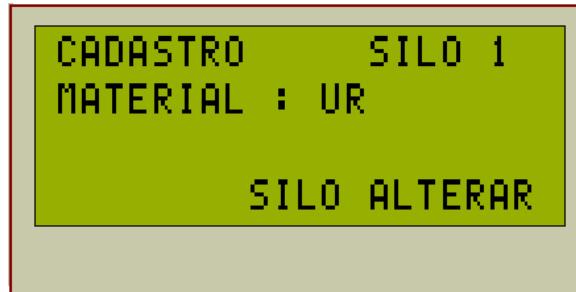


Figura 3.11 – Menu Cadastro de Matéria Prima do SCAS.

Menu Cadastro é utilizado para efetuar o cadastramento do nome do material que será abastecido o silo.

Os botões de posição [+] [-] são utilizados para selecionar o silo que se deseja alterar.

Com o silo desejado aparecendo no display, deve-se pressionar o botão SET conforme mostra o display para abrir a opção de alteração do nome do material. Após ter pressionado o botão SET, com os botões [+] [-] se faz a mudança do nome do material, e para confirmar pressione novamente a tecla SET. O operador deve fazer isto para todos os silos.

MENU 3 - SILOS EM OPERAÇÃO (Figura 3.12)



Figura 3.12 – Menu Silos em Operação do SCAS.

O Menu Silos em Operação mostra os silos disponíveis, e podem ser alterados conforme desejado.

Pressiona-se a tecla SET para iniciar a seleção. Feito isso, aparece uma nova opção no display utilizando a tecla MENU que serve para selecionar o silo em que se deseja executar a alteração. Para alterar a disponibilidade do silo, é utilizado o botão [+].

Para confirmar aperta-se a tecla SET.

MENU 4 – CORRENTE ELEVADOR (Figura 3.13)

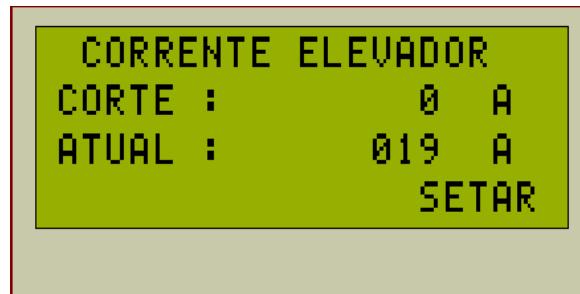


Figura 3.13 – Menu Corrente Elevador do SCAS.

O Menu Corrente do Elevador é responsável por ajustar a corrente tolerada pelo sistema proveniente do elevador, com a função de permitir ou não o deslocamento do DM. Identificar se o mesmo está ou não com carga.

Para setar a corrente de corte basta pressionar a tecla SET que será automaticamente atualizada com o novo valor conforme especificado.

A Figura 3.14 mostra uma foto do SCAS ainda em desenvolvimento no laboratório, com a placa micro controlada, o display com os botões da IHM a fonte e a sirene indicadora de erro.

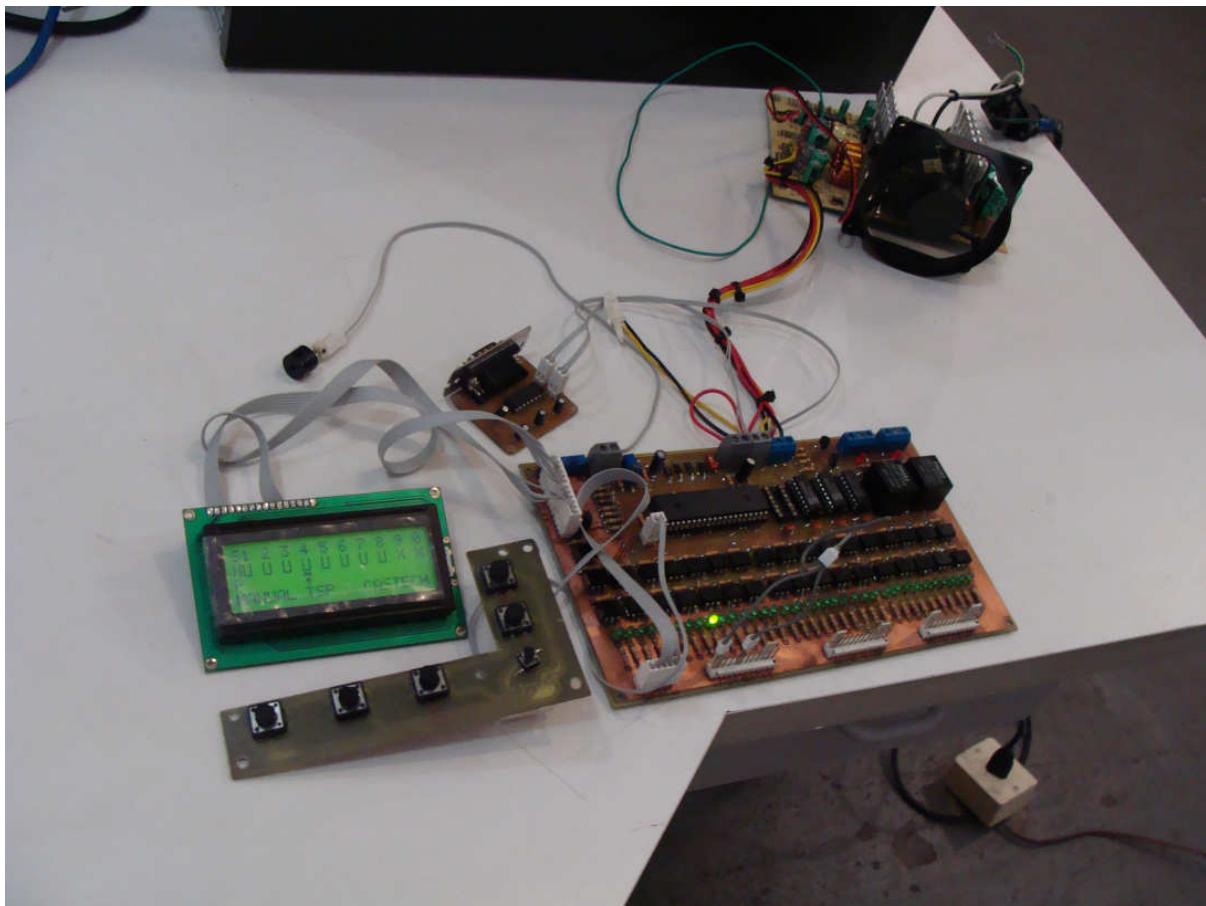


Figura 3.14 – Partes internas do SCAS.

3.3.3 Possíveis Causas de Falha

Caso o sensor de nível alto esteja com sinal e o sensor de nível de baixo sem sinal, será indicado no display o silo com problema. Caso ocorram múltiplas posições do motor, o sistema é interrompido e fica aguardando até que problema seja solucionado. Coloca-se manualmente o DM em Posição Neutra, posteriormente aciona-se o botão Set para encontrar nova referência. Reseta-se o sistema caso não volte a funcionar. Caso o motor não pare na posição correta, verifica-se no chão de fábrica o posicionamento dos sensores conforme recomendações de montagem. Reseta-se o sistema caso não volte a funcionar. Caso haja algum silo sem material cadastrado, acarretará o não envio de informação necessária para o Painel no campo. Caso haja a passagem para AUTOMATICO com DM em movimento, o sistema redirecionará o DM para uma nova posição de destino desprezando a posição previamente selecionada. Todos os erros são indicados na tela da IHM e uma sirene avisa a ocorrência.

3.3.4 Manutenção e Limpeza

Construtivamente o SCAS não requer manutenção de campo bastando, para isso, que sejam respeitadas as recomendações de instalação e a limpeza deve ser efetuada apenas superficialmente com pano seco.

4 Resultados

Após o desenvolvimento do SCAS, testou-se o mesmo em laboratório simulando os componentes da unidade de mistura como os motores e o sensor de presença e usando o sensor de nível também desenvolvido. O sistema comportou-se de maneira esperada quando das simulações dos erros e falhas e lidou, de forma coerente, com as informações lidas das entradas de sinais dos sensores.

O sensor de nível foi testado em simulação de um silo industrial com uréia e indicou sinal alto em sua saída quando do contato com o material, que o faz inclinar. A temperatura do sensor, que aumenta um pouco por efeito joule pela passagem de corrente no material metálico, fez com que pouco da uréia derretesse e incrustasse no corpo do sensor. Todavia, este acúmulo não interferiu no desempenho do sensor e nem provocou danos ao equipamento.

No que diz respeito ao custo de produção, pode-se garantir que o preço final repassado ao consumidor apresenta uma economia frente às alternativas. O sensor apresenta uma economia considerável devido a sua simplicidade em relação aos usados atualmente na indústria.

5 Conclusões

Conclui-se desta iniciativa que é sempre possível encontrar soluções mais adequadas aos problemas encontrados na indústria e que, apesar de complexos, muitos problemas podem esconder soluções suficientemente simples que permitem a economia se devidamente implantadas.

Pelo fato de o sistema ter se comportado como esperado, o conceito teórico em que o projeto foi baseado é válido. A economia para o cliente final através de soluções de engenharia é um fato sempre marcante na indústria, já que, para que possam competir em qualquer mercado, o preço do produto final é um trunfo a ser explorado. E é nesse contexto que está inserido a constante melhora e desenvolvimento de novas tecnologias para que facilitem e acelerem a operação, diminua o custo de produção e gere lucro.

O constante desenvolvimento e correções no produto se faz fundamental para que o mesmo esteja sempre compatível com o atendimento às necessidades do cliente. Desta forma, a busca pela simplificação do sistema e de seus componentes é um projeto futuro, para que assim, o SCAS possa permanecer como uma boa solução em custo/benefício e que nunca se torne obsoleto.

Outro fato importante a ser comentado é que a criatividade de idéias e a capacidade de adequações de ferramentas disponíveis para o amadurecimento de soluções são virtudes que todo engenheiro deveria apurar. Fazer muito com o pouco que tem.

6 Referências Bibliográficas

- [1] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Center (IFDC). Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers 1998.
- [2] Fernandes, Eduardo; de A. Guimarães, Bruna; R. Matheus, Romulo – Principais Empresas e Grupos Brasileiros do Setor de Fertilizantes. Disponível em:
http://www.bnDES.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bnDES_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2906.pdf.
- [3] A. Saab, Ali; de A. Paula, Ricardo – O Mercado de Fertilizantes no Brasil: Diagnósticos e Propostas de Políticas. - Disponível em:
http://www.codeagro.sp.gov.br/camaras_setoriais/banco_noticia/fertilizantes1709.pdf
- [4] J&H Equipment Web Site - Disponível em: <http://www.jhequipment.com/>
- [5] Prof. Cavagnino, Andrea – Appunti delle Lezioni – Macchine Elettriche. Politecnico di Torino – Italia.