



DYOGO MONDEGO MORAES

**CONSTRUÇÃO DE UM SECADOR DE GRÃOS EM LEITO
FLUIDIZADO CÔNICO E IMPLEMENTAÇÃO DE SEUS SISTEMAS
DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

DYOGO MONDEGO MORAES

**CONSTRUÇÃO DE UM SECADOR DE GRÃOS EM LEITO
FLUIDIZADO CÔNICO E IMPLEMENTAÇÃO DE SEUS SISTEMAS
DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Curso da Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Alejandro Carjaval Florez

São Luís
2021

Mondego Moraes, Dyogo.

CONSTRUÇÃO DE UM SECADOR DE GRÃOS EM LEITO FLUIDIZADO
CÔNICO E IMPLEMENTAÇÃO DE SEUS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE
DADOS / Dyogo Mondego Moraes. - 2021.

68 p.

Orientador(a): FABIO ALEJANDRO CARVAJAL FLOREZ.
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Química,
Universidade Federal do Maranhão, SÃO LUIS, 2021.

1. AQUISIÇÃO DE DADOS. 2. MYRIO. 3. SECAGEM. I.
ALEJANDRO CARVAJAL FLOREZ, FABIO. II. Título.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. FABIO ALEJANDRO CARVAJAL
Orientador – COEQ/CCET/UFMA

Prof. Dr. JOSE ROBERTO PEREIRA RODRIGUES
COEQ/CCET/UFMA

PROF. DR. MARCELO FÁBIO LEONARDO
COEQ/CCET/UFMA

11 de outubro de 2021

DADOS CURRICULARES

Dyogo Mondego Moraes

NASCIMENTO 219/12/1994 – SÃO LUIS/MA

FILIAÇÃO David Salles moraes
Maria Jose Braga Mondego

2013/2021 Curso de Graduação
Engenharia Química - Universidade Federal do Maranhão

Dedico este trabalho a minha mãe, que sempre acreditou no poder transformador da educação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer. Agradeço a minha mãe Maria Jose Braga Mondego, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes. Ao meu orientador Fabio Carvajal, pelo suporte no tempo que lhe coube, pelas suas correções, puxões de orelhas quando necessário e incentivos. Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender, em especial ao meu aos professores que admiro muito Glauber Cruz, Audirene Amorim, Marcelo Fabio, Edmar Pereira.

A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais terão os meus eternos agradecimentos. Meus agradecimentos aos amigos Layrton Jose, Caio Borges, Prost Mohamed, Luciana Lemos, Hiza Nayra, Danilo, Nay Martins, Ariana, Karen Cyelle, Ana Clara, Darah Tawany, Dainderson, Larissa, Lanna Almeida, Jose Lucas, A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

.

“Nossa maior fraqueza é a desistência. O caminho mais certo para o sucesso é sempre tentar apenas uma vez mais.”

Thomas Edison

MORAES, D. M. **Construção de um secador de grãos em leito fluidizado cônico e implementação de seu sistema de aquisição de dados**. 2021. 78 f. Número total de folhas. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

RESUMO

Este trabalho apresenta a construção de um secador em leito fluidizado e a implementação de um instrumento virtual, que permite medir temperaturas, pressões, umidades e vazões, do protótipo desenvolvido para testes de laboratório. O referido secador é baseado em um leito cônico vertical, alimentado com ar aquecido por uma resistência elétrica e alimentado por um ventilador centrifugo, e seu sistema de controle correspondente. O instrumento virtual foi implementado no software LabVIEW, usando a placa myRIO como placa de aquisição de dados. Além de adquirir e exibir em tempo real os sinais de temperaturas, pressões, umidades e vazões do sistema secador, o instrumento virtual é capaz de armazenar os valores desses sinais em um arquivo para posterior análise. Vale ressaltar que este trabalho é a primeira etapa de um trabalho mais extenso, no qual no futuro se pretende expandir as capacidades da placa myRIO, para implementar e monitorar adicionalmente estratégias de controle de secadores em leito fluidizado.

Palavras-chave: controle, instrumentação, leito fluidizado, myrio, temperatura, vazão, umidade

MORAES, D. M. **Construction of a conical fluidized bed grain dryer and implementation of its data acquisition system.** 2021. 78 f. Undergraduate thesis (Bachelor in Chemical Engineering) Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

ABSTRACT

This work presents the construction of a fluidized bed dryer and the implementation of a virtual instrument, which allows to measure temperatures, pressures, humidity and flow rates, of the prototype developed for laboratory tests. Said dryer is based on a vertical tapered bed, fed with air heated by an electric resistance and fed by a centrifugal fan, and its corresponding control system. The virtual instrument was implemented in the LabVIEW software, using the myRIO card as a data acquisition card. In addition to acquiring and displaying the signals of temperatures, pressures, humidity and flow rates in the dryer system in real time, the virtual instrument is capable of storing the values of these signals in a file for later analysis. It is worth mentioning that this work is the first stage of a more extensive work, in which in the future it is intended to expand the capabilities of the myRIO board, to implement and additionally monitor strategies for controlling fluidized bed dryers.

Keywords: control, instrumentation, fluidized bed, myrio, temperature, flow, humidity

LISTA DE FIGURAS

Figura	01	Leito De Partículas Percolado Por Uma Corrente Gasosa Ascendente	03
Figura	02	Representação Esquemática De Um Leito Fixo.	07
Figura	03	Representação Esquemática De Um Leito Fixo.	08
Figura	04	Regimes De Fluidização Em Função Da Velocidade Superficial Do Gas	11
Figura	05	Painel Frontal Para Usuario Interagir Com O Sistema	12
Figura	06	Painel Frontal E Diagrama De Blocos Do Sistema	13
Figura	07	Operação Em Loop Para Medida De Temperatura	14
Figura	08	Temperature Como Um SubVI	14
Figura	09	Tela Inicial Labview	15
Figura	10	Janela De Painel Frontal E Sua Janela De Diagrama De Bloco Correspondente	16
Figura	11	Barra De Ferramentas	17
Figura	12	Botão Run	17
Figura	13	Botão Run Quebrado	17
Figura	14	Botão Run Continuously	17
Figura	15	O Botão Abort Execution	18
Figura	16	Botão Pause	18
Figura	17	Menu Text Settings	18
Figura	18	Menu Align Objects	18
Figura	19	Menu Distribute Objects	18
Figura	20	Paleta Tools	18
Figura	21	Operating	19
Figura	22	Positioning	19
Figura	23	Labeling	20
Figura	24	Wiring	20
Figura	25	Object Shortcut	20
Figura	26	Scrolling	20
Figura	27	Breakpoint	21
Figura	28	Probe	21
Figura	29	Color Copy	21
Figura	30	Coloring	21
Figura	31	Paleta Controls	22
Figura	32	Paleta Functions	23
Figura	33	Esquema Secador De Leito Fluidizado	24
Figura	34	Tomadas de pressão na coluna do leito	26
Figura	35	Fiação do controlador de temperatura do ar	26
Figura	36	Controlador de temperatura Watlow serie 93	27
Figura	37	Relé de estado sólido	28
Figura	38	Resistencia para aquecimento de ar	29
Figura	39	Elementos do motor	30
Figura	40	Tipos de motores	30
Figura	41	Diagrama de blocos de um inversor de frequência	33
Figura	42	Quadro de comando com o inversor de frequência SINAMICS G110	34
Figura	43	Sinais primários / secundários nos conectores MXP A e B	37
Figura	44	Sinais primários / secundários nos conectores MSP C	38

Figura	45	O MSP (a porta C)	39
Figura	46	Ni myRIO utilizado no projeto	40
Figura	47	Comportamento não-linear do termistor NTC na faixa de -50 a 105°C.	40
Figura	48	Placa de orifício com suas tomadas de pressão diferencial	42
Figura	49	Curva característica de resposta, em tensão elétrica, do sensor MPXV7002DP	42
Figura	50	Sensor de umidade relativa HIH 4000-004	44
Figura	51	Tensão de saída do sensor HIH 4000 versus umidade relativa (%)	44
Figura	52	Região de operação do sensor de umidade HIH 4000-004	45
Figura	53	Painel frontal de aquisição de dados e controle do sistema	45
Figura	54	Diagrama de blocos do sistema.	46
Figura	55	Pressão da placa distribuidora versus vazão do ar na entrada do leito	50
Figura	56	Curva de fluidização experimental versus velocidade do ar na entrada do leito	51
Figura	57	Umidade relativa do ar na saída do leito em relação ao tempo para secagem de feijão a temperatura de 49 °C.	52
Figura	58	Temperatura do ar na saída do leito em relação ao tempo para secagem de feijão a temperatura de 49 °C.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Tabela com significados das simbologias de controle da figura	24
Tabela 02 – Parametrização do inversor de frequência	35
Tabela 03 – entradas e saídas do NI myRIO 1900	38
Tabela 04 – Equações de calibração das entradas analógicas na porta A da myRIO.....	47
Tabela 05 – Equações de calibração das entradas analógicas na porta B da myRIO.....	47

SUMÁRIO

	FOLHA DE APROVAÇÃO.....	ii
	DADOS CURRICULARES.....	ii
	DEDICATÓRIA.....	iv
	AGRADECIMENTOS.....	v
	EPÍGRAFE.....	vi
	RESUMO.....	vii
	ABSTRACT.....	viii
	LISTA DE FIGURAS.....	ix
	LISTA DE TABELAS.....	x
	SUMÁRIO.....	xiii
1	INTRODUÇÃO.....	01
2	OBJETIVOS.....	05
2.1	Objetivos gerais.....	05
2.2	Objetivos específicos.....	05
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06
3.1	Operação De Secagem	06
3.2	A Secagem em leito fluidizado.....	08
3.3	LabVIEW.....	11
3.4	Ambiente de programação LabVIEW.....	12
3.5	Como iniciar no Labview.....	15
3.6	Janelas do painel frontal e do diagrama de bloco.....	16
3.7	Barra de ferramentas do painel frontal.....	17
3.8	Paletas.....	19
3.8.1	Paleta Tools.....	19
3.9	Paletas Controls e Functions.....	22
3.9.1	Paleta Controls.....	22
3.9.2	Paleta Functions.....	23
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1	Leito.....	25
4.1.1	Pleno.....	25
4.1.2	Coluna.....	25

4.2	Sistema de aquecimento.....	26
4.2.1	Controlador de temperatura PID.....	27
4.2.2	Relé de estado sólido.....	27
4.2.3	Atuador de aquecimento.....	28
4.3	Sistema de ar.....	29
4.3.1	Motor.....	30
4.3.1.1	Tipos.....	30
4.3.1.2	Trifásicos.....	30
4.3.1.3	Velocidade de rotação do motor.....	31
4.3.2	Inversor de frequência.....	32
4.3.2.1	Funcionamento de inversor de frequência.....	33
4.3.2	Seleção do inversor de frequência.....	34
4.3.3	Seleção dos parâmetros.....	35
4.4	Myrio.....	36
4.5	Termistor 10k.....	39
4.6	Termistor pt100.....	43
4.7	Medidor de vazão com placa de orifício.....	41
4.8	Sensores de pressão diferencial mpxv7002dp.....	42
4.9	Medidores de umidade tipo hih-40xx.....	43
4.10	Implementação do sistema de aquisição de dados.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1	Testando a placa distribuidora.....	48
5.2	Experimentos de fluidização.....	49
5.2.1	Curva de fluidização.....	49
5.2.2	Velocidade mínima de fluidização.....	50
5.3	Experimentos de secagem.....	50
6	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia para a produção de sementes preconiza, genericamente, a realização da colheita no momento mais próximo possível da maturidade fisiológica. Sabe-se, entretanto, que as sementes, de uma maneira geral, atingem a maturidade fisiológica com teores de água superiores a 30%, não compatível, com a tecnologia disponível para a colheita mecânica (VILLELA & SILVA, 1992; PESKE & BARROS, 1997; MIRANDA et al.,1999).

Segundo POPINIGIS, 1985, a maturação das sementes é uma etapa que inclui mudanças na morfologia, fisiologia e função, desde o início da fertilização dos ovos até o final do acúmulo máximo de matéria seca.

Do momento da maturação fisiológica até o momento em que é utilizada para a semeadura, as sementes sofrerão uma perda de qualidade fisiológica devido às alterações bioquímicas e fisiológicas que ocorrerem. Em muitos casos, a deterioração que não é detectável na fase inicial irá se manifestar com o tempo, o que tem um impacto negativo na vitalidade. Segundo MORAES (2000), a rapidez com que ocorre a perda de qualidade das sementes após a maturidade fisiológica é função da espécie, da cultivar e das condições impostas às sementes no campo, após a colheita e durante as operações de beneficiamento e armazenamento.

Segundo AHRENS & PESKE (1994), Devido às mudanças na umidade relativa do ambiente, o mecanismo diário de absorção e dessorção de água das sementes de soja entre o período de maturação fisiológica e o período de colheita pode atingir uma faixa de mais de cinco por cento. Considerando a troca permanente de água entre as sementes e o meio ambiente, esse fato pode ocorrer com outras espécies mesmo que a intensidade seja variável.

A secagem artificial vem sendo utilizada como uma operação de rotina nas empresas de sementes, principalmente, nos estados do Sul do Brasil e, não obstante as vantagens que apresenta, é uma operação de risco, podendo proporcionar danos irreversíveis se realizada sem os conhecimentos e cuidados necessários à preservação da qualidade inicial das sementes (CARVALHO, 1994; MIRANDA et al. 1999).

BAUDET et al. (1999) recomenda a utilização da secagem como processo técnico básico para a produção de sementes de alta qualidade, pois pode reduzir o teor de umidade a um nível de armazenamento suficiente, proteger as sementes de alterações físicas e químicas causadas pelo excesso de umidade e manter a qualidade inicial durante o armazenamento é possível, Faça a colheita perto da maturidade fisiológica. Os métodos de secagem são classificados quanto ao uso de equipamentos (natural ou artificial), à periodicidade no fornecimento de calor (contínuo ou intermitente) e à movimentação da massa de sementes (estacionário ou contínuo).

A secagem natural é baseada nas ações do vento e do sol para a remoção da umidade das sementes. Tal processo é limitado pelo clima, quando as condições de umidade relativa do ar e temperatura não permitem, ou quando se trata de maiores volumes de sementes. Apesar de apresentar baixo custo, é um método lento, e as sementes não devem ser expostas em camadas superiores a 4-6cm, com revolvimento periódico (MAIA, 1995). Apresenta desvantagens que decorrem do intensivo uso de mão-de-obra, uma vez que as operações geram baixo rendimento e o processo é totalmente dependente das condições climáticas disponíveis (CARVALHO, 1994).

Na secagem artificial, a fonte de calor pode ser variável. O que caracteriza um método como artificial é o fato de que o processo é executado com o auxílio de alternativas mecânicas, elétricas ou eletrônicas e o ar, que atravessa a massa de sementes, é forçado (CAVARIANI, 1996). Sua vantagem é que pode controlar a temperatura, o fluxo de ar de secagem e o tempo que as sementes ficam expostas ao ar quente, fatores básicos para garantir a eficiência do processo.

Baseada na capacidade do ar fornecer calor e na necessidade de aumentar a temperatura do ar, segundo VILLELA (1991), a secagem artificial pode ser dividida em duas categorias: secagem em baixa temperatura, na qual se utiliza o ar natural ou aquecido de 1 a 8°C acima da temperatura ambiente e secagem em alta temperatura, que consiste em aquecer o ar a temperaturas iguais ou superiores a 8 - 10°C acima da temperatura ambiente.

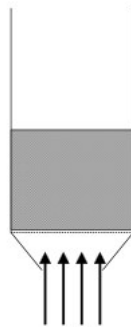
Quanto ao fluxo de sementes no interior do equipamento de secagem, os métodos artificiais podem ser classificados em contínuo e estacionário. A secagem em fluxo contínuo implica manter as sementes em constante movimento no interior do secador. Na secagem contínua, as sementes passam através do secador apenas uma vez, ficando expostas um determinado período ao ar aquecido e outro na câmara de resfriamento. Isso vale dizer que as sementes entram úmidas na câmara de secagem e são descarregadas resfriadas com a umidade desejada. Nessas condições, a massa de sementes atinge temperaturas elevadas, ficando expostas aos danos térmicos, que podem causar redução na viabilidade e no vigor (AGUIRRE & PESKE, 1992; VILLELA & SILVA, 1992; CARVALHO, 1994).

Embora não seja recomendado para a secagem de sementes, esse método pode ser utilizado, desde que observadas algumas precauções. VILLELA & PESKE (1997) sugerem a elevação da velocidade do fluxo das sementes permitindo o aumento do número de passagens pela câmara de secagem, reduzindo, dessa forma, o tempo de exposição ao ar aquecido e mantendo a temperatura da massa de sementes em níveis não prejudiciais para manutenção de sua qualidade.

A fluidização promove um bom contato entre a superfície das partículas sólidas e o fluido. Como resultado, além de promover uma boa mistura e homogeneização dos materiais, a resistência ao calor e a transferência de massa também podem ser reduzidas. Com foco nessas características, a engenharia química desenvolveu uma variedade de aplicações de fluidização, especialmente fluidização gás-sólido, com ênfase em reatores químicos e secadores.

O fenômeno da fluidização, acontece da seguinte forma uma massa de partículas acomodada sobre uma placa ou tela perfurada, formando um leito de seção transversal circular ou retangular. Onde uma corrente gasosa atravessando esse leito de partículas no sentido ascendente, como se mostra na Figura 01.

No caso de baixa velocidade do gás, ele fluirá para o espaço entre as partículas sem promover o movimento do material - esta é uma penetração simples, e o leito permanece fixo. À medida que a velocidade do gás aumenta, as partículas se afastam e algumas começam a vibrar ligeiramente - naquele momento, você tem um leito em expansão. Em velocidades mais altas, chega-se à condição de que a soma das forças causadas pelo gás que flui para cima seja igual ao peso das partículas. Nesse caso, a movimentação do material é mais violenta, chegando ao chamado leito fluidizado. À velocidade do gás nessa condição dá-se o nome de mínima velocidade de fluidização, que é a velocidade correspondente ao regime de fluidização incipiente (KUNII & LEVENSPIEL, 1991; GUPTA & SATHIYAMOORTHY, 1999).



Fonte: Próprio Autor

Figura 01 – Leito De Partículas Percolado Por Uma Corrente Gasosa Ascendente

Continuando-se o processo de aumento da velocidade do gás, a fluidização borbulhante é o regime que se observa após a fluidização incipiente. No caso de partículas de pequeno tamanho, com densidade geralmente menor do que $1,4 \text{ g/cm}^3$, ocorre uma expansão considerável do leito antes de surgirem as bolhas que caracterizam a fluidização borbulhante. No caso de partículas mais densas, entre $1,4 \text{ g/cm}^3$ e 4 g/cm^3 , a expansão do leito não vai muito

além daquela adquirida na condição de fluidização incipiente e as bolhas já surgem com a velocidade de mínima fluidização (GELDART, 1973; KUNII & LEVENSPIEL, 1991). Em alguns leitos profundos em recipientes com diâmetros reduzidos, aparecem "lesmas", grandes bolhas formadas pela coalescência de bolhas menores, cujo diâmetro é igual ao diâmetro do leito e movendo-se em um fluxo em pistão. Nesse caso, grandes flutuações na queda de pressão do gás são observadas.

A fluidização turbulenta é um regime que antecede a condição de leito de arraste (ou fluidização rápida) e está além da fluidização borbulhante. Sua identificação e caracterização corretas ainda são um desafio. Na fluidização turbulenta, as oscilações de queda de pressão no leito diminuem, pois as grandes bolhas e espaços vazios desaparecem (BI et al., 2000).

O estado após a turbulência é um estado de fluidização rápida, que ocorre quando a velocidade do gás excede a velocidade de sedimentação da partícula terminal e o material começa a ser arrastado. A uma velocidade maior, basta arrastar todos os materiais para atingir as condições de transporte pneumático. Para operar o sistema nessas condições, as operações subsequentes de separação gás-sólido devem ser realizadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Projetar e construir uma bancada experimental de secagem em leito fluidizado para testar diferentes tipos de grãos, e fazer a aquisição de dados que permitam a captura dos parâmetros necessários para caracterizar a operação de secagem e fluidização.

2.2 Objetivos específicos

- Monitorar as variáveis críticas para o projeto do reator de leito fluidizado.
- Construir o secador experimental de grãos em leito fluidizado.
- Executar testes de verificação para garantir a operação adequada do sistema.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Operação De Secagem

Secagem é a remoção, voluntária ou não, total ou parcial, de uma fase líquida ou gasosa de qualquer material, envolvendo exclusivamente a transferência de calor e massa e apresenta como principal objetivo a remoção de água do produto através da evaporação. Sendo necessária a utilização de calor para evaporar a umidade da superfície do produto através de um meio de secagem externo, normalmente o ar.

O calor é aplicado no material por convecção através do ar, ou por condução através do contato com uma superfície quente. O calor é utilizado para vaporizar o líquido na superfície do sólido, ou próximo da superfície se a mudança de estado ocorrer dentro do produto, e esse vapor é retirado pelo fluxo de ar, seja em convecção natural ou forçada.

A operação de secagem tem muitas aplicações nas indústrias químicas e de alimentos. A secagem pode ter várias razões, como alteração da forma de apresentação de um produto, de sua cor, textura e sabor, redução de volume e peso para transporte e obtenção de um novo produto. Uma das principais finalidades de se secar produtos alimentícios é o fato de a redução da atividade de água do material impedir ou retardar o desenvolvimento de microrganismos.

Em um produto biológico, parte do líquido encontra-se de forma relativamente livre, dentro de capilares, enquanto que parte se encontra dentro de células, que durante o processo, vai saindo lentamente por difusão de umidade através da membrana celular. A superfície do produto pode estar bastante seca, enquanto que seu interior ainda se encontra com alta umidade, causando uma tensão, que pode ocasionar rachaduras no produto (FIOREZE, 2004).

Vários mecanismos físicos foram propostos (BROOKER *et al.*, 1974; FORTES & OKOS, 1980) para descrever a transferência de umidade nos produtos capilares porosos entre os quais se destacam:

- movimento de líquido devido as forças superficiais (difusão capilar);
- movimento de líquido devido a diferenças na concentração de umidade (difusão líquida);
- movimento de líquido devido a difusão da umidade na superfície dos poros (difusão de superfície);
- movimento de vapor devido a diferenças de concentração de vapor (difusão de vapor);
- movimento de vapor devido a diferenças de temperatura (difusão térmica);

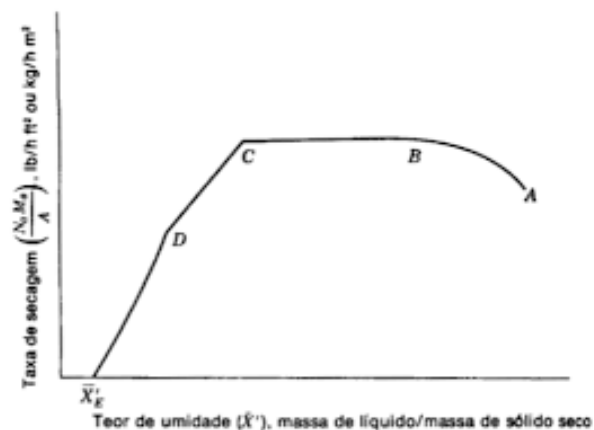
- movimento de água e de vapor devido a diferenças de pressão total (fluxo hidrodinâmico).

A secagem demanda existência de gradientes de pressões parciais de vapor de água entre as sementes e o ar de secagem. De acordo com as propriedades higroscópicas, o fluxo de vapor de água ocorre no sentido da maior para a menor pressão parcial de vapor; assim, o aquecimento do ar de secagem determina a redução da umidade relativa e o conseqüente aumento do potencial de retenção de água.

A secagem de sementes, mediante convecção forçada do ar aquecido, estabelece dois processos que ocorrem simultaneamente: transferência da água superficial das sementes para o ar e movimento de água do interior para a superfície das sementes, decorrente do gradiente hídrico entre essas duas regiões (VILLELA, 1991; MORAES, 2000).

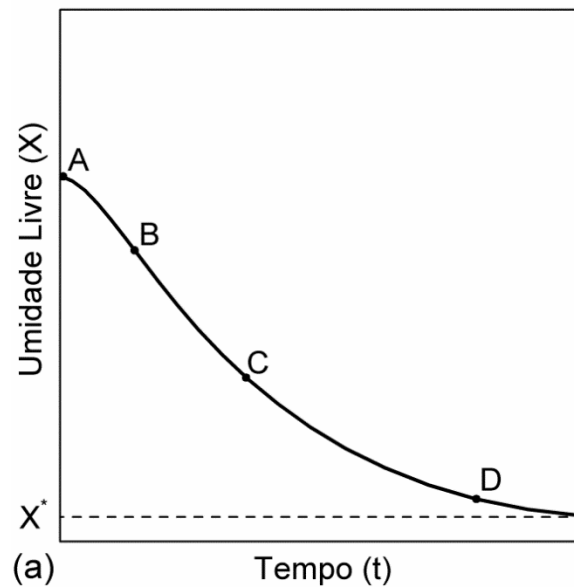
Assim, em função da necessidade de energia térmica para a evaporação da água, ocorre um resfriamento do ar de secagem pela perda de calor sensível. No entanto, o balanço energético é nulo porque o ar recupera, na forma de vapor de água (calor latente), o que perdeu na forma de calor sensível. Desse modo, a secagem é considerada um processo isoentálpico, em que ocorre redução da temperatura do ar e aumentos da razão de mistura, da umidade relativa, da pressão de vapor e da temperatura do ponto de orvalho; por outro lado a entalpia e a temperatura do bulbo úmido permanecem praticamente constantes (VILLELA & SILVA, 1992; CAVARIANI, 1996).

De acordo com KEEY (1992) o fenômeno de secagem não pode ser generalizado, principalmente quando se trata de materiais biológicos que possuem características intrínsecas muito diferentes entre si, como a existência da contribuição do soluto durante a secagem e o encolhimento do produto, devido à mudança de pressão entre o líquido e a parede celular. A evolução de um processo de secagem pode ser visto nas Figuras - 02 e 03, respectivamente.



Autor: researchgate

Figura 02 - Curva característica da cinética de secagem.



Autor: PARK, K. J. et al.

Figura 03 - Taxa de secagem em função da umidade.

O período de aquecimento, segmento AB (Figura 02), é o trecho onde a temperatura do sólido a ser seco e o fluido secante entram em equilíbrio, podendo ter a concavidade para cima ou para baixo.

O seguimento BC (Figura 02) representa o período de taxa constante, quando na superfície do produto há uma película de água que é formada pela umidade interna que migra para superfície que, conforme o ar passa, vai sendo retirado através de transferência de massa, e por transferência de calor aquece o produto até que o mesmo não tenha mais condições de suprir a película[8].

A temperatura interna do produto se equivale a temperatura de bulbo úmido, assim permanecendo constante a taxa de secagem. Neste período, seguimento CD, aparece as primeiras áreas secas do produto, portanto é quando a umidade interna começa a ser seca e a temperatura do mesmo se eleva.

A forma como essa umidade irá ser transferida para o fluido secante depende de sua estrutura física. Nota-se que a taxa de secagem diminui gradativamente ao longo do processo

3.2 A Secagem em leito fluidizado

O termo "leito fluidizado" é usado geralmente para designar um sistema multifásico em que uma carga de partículas sólidas é suspensa por uma corrente de gás ou líquido. É

denominada "fluidização" porque neste estado as duas fases do sistema sólido/fluido comportam-se de forma similar a um líquido homogêneo, MARTIN (1982).

A fluidização de sólidos vem sendo bastante utilizada nos processos industriais onde se consegue um contato sólido-fluido mais eficiente. A ampla utilização desse mecanismo de contato deve-se, principalmente, a alta mobilidade e intensa mistura dos sólidos que proporcionam, por sua vez, altíssimas taxas de transferência de calor e massa, e uma uniformidade de temperatura no interior do leito (Coulson & Richardson, 1968; Geldart, 1983).

A utilização da técnica de fluidização foi difundida em 1940, com a construção do primeiro leito fluidizado para craqueamento de carvão. Somente mais tarde esta técnica seria utilizada como meio adequado ao recobrimento de partículas. Vários estudos do desenvolvimento deste e de outros processos em leito fluidizado são apresentados por Kunni & Levenspiel (1991).

Desde as primeiras aplicações, o leito fluidizado demonstrou ser uma técnica versátil no processamento de produtos particulados com destaque para a secagem (Wong, 2002). A fluidização como técnica de processamento surgiu no século XVI, registrando-se a primeira patente em 1910 na indústria petroquímica como método de craqueamento do petróleo.

O uso típico dos leitos fluidizados inclui reatores no craqueamento, gaseificação, carbonização e calcinação, equipamentos de adsorção e dessorção, granulação e revestimento de partículas. Adaptam-se para a secagem e resfriamento de minerais, polímeros, produtos farmacêuticos, fertilizantes, produtos cristalinos e produtos agrícolas (Rhodes, 2001).

Nos anos 70, foi patenteado o processo para produção de sementes recobertas e métodos de recobrimento de sementes em leito fluidizado (Porter, 1974; Kitamura & Watanabe, 1981; apud Kunii & Levenspiel, 1991). Gishler & Mathur (1957) obtiveram, para determinada faixa de tamanho de partículas, o regime fluidodinâmico denominado de jorro, controlando a velocidade de entrada de gás e a forma geométrica do leito utilizado.

Em 1962, no Canadá, foram instaladas as primeiras unidades de leito de jorro para secagem de ervilha, lentilha e sementes de linho. Recentemente, foi verificada a possibilidade de utilização do leito de jorro e leito fluidizado em alguns processos de revestimento de sementes, além dos processos de secagem, comumente utilizados.

A fluidização é um processo onde um leito de material particulado, contido em uma câmara, assume um comportamento fluídico ao ser atravessado por um fluxo gasoso ou líquido com movimento vertical e ascendente injetado sob o distribuidor (Park et. al, 2000). O

distribuidor é uma superfície perfurada que permite a passagem do fluido enquanto suporta o leito de particulados.

Segundo Parikh (1991), o fator de maior influência no leito fluidizado é o fluxo de fluido que ao atravessar o distribuidor é injetado de forma distribuída a elevadas velocidades, provocando a suspensão e o movimento das partículas, maximizando a exposição de suas superfícies. A velocidade é o principal parâmetro no comportamento do leito e o seu valor mínimo caracteriza o início da fluidização.

O fluido na velocidade mínima de fluidização (V_{mf}) exerce uma força de arraste que suspende e separa as partículas. As forças friccionais e a componente vertical de forças compressivas entre partículas são anuladas. O leito se expande e a queda de pressão através de qualquer seção do leito é aproximadamente igual ao peso do fluido e das partículas daquela seção. É chamada de fluidização mínima ou incipiente (Rhodes, 2001). Até atingir este ponto o leito é denominado fixo.

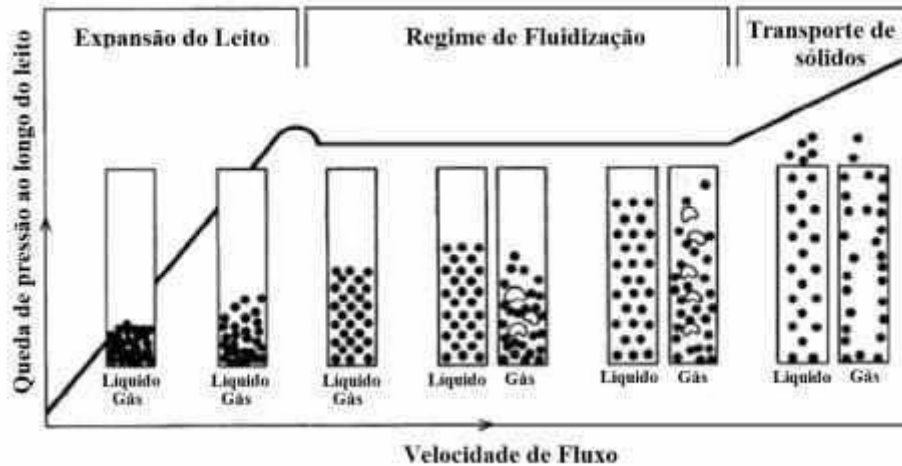
A determinação da velocidade e da porosidade mínima de fluidização de um leito constituído por uma mistura de partículas difere de um leito homogêneo uma vez que a variação da queda de pressão no leito com o aumento da velocidade superficial do gás é diferente (Cheung et al. 1968; Kunii & Levenspiel, 1969; Rowe & Nienow, 1975; Tambourgi & Pereira, 1984; Wen & Yu, 1966).

A queda de pressão através do leito pode ser vista na Figura 04, sendo proporcional à velocidade no trecho OA, região dos leitos fixos e depende da permeabilidade, da rugosidade das partículas, da densidade, da viscosidade e da velocidade superficial. O fluido percorre pequenos e tortuosos canais, perdendo energia e pressão. No trecho inicial, até uma velocidade de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ o valor da perda de carga pode ser calculado pelas relações de Shedds e Baker-Aekema (ASAE, 2000).

Com o aumento da velocidade ocorre a fluidização, que inicia pelo topo do leito, pois devido a forças adesivas, nem todas as partículas movimentam-se ao mesmo tempo. Atingida a fluidização com a separação das partículas e a expansão do leito, a perda de carga se reduz, sendo menor que a pressão exercida pelo peso do material, deixando de existir a proporcionalidade entre a velocidade superficial e a perda de carga (ponto B). . Neste ponto estabelece-se a relação que determina a perda de carga podendo ser vista através da Figura 04 e equação 01.

$$\Delta p = H_{mf}(1 - \epsilon_{mf}).(\gamma_g - \gamma_a) \quad (01)$$

em que H_{mf} e ϵ_{mf} são a altura do leito e a porosidade na fluidização mínima



Autor: Levispiel

Figura 04 - Curva de fluidização.

3.3 Labview

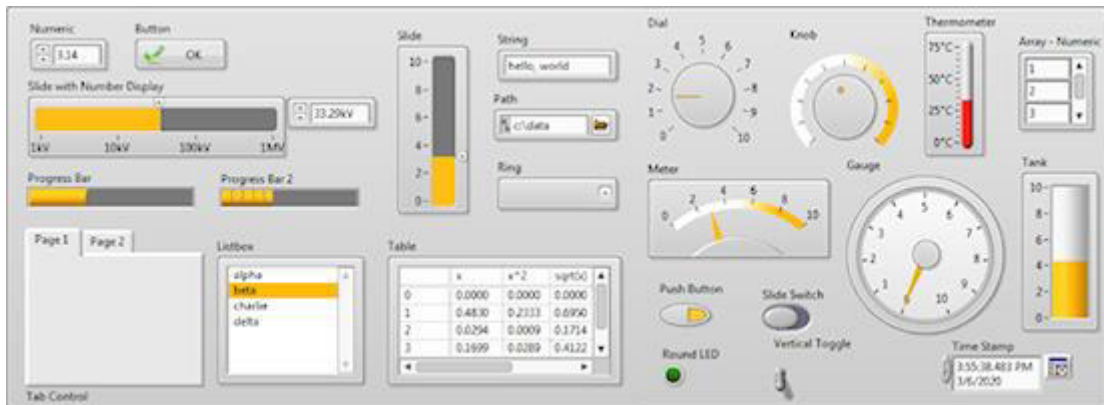
LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica que usa ícones em vez de linhas de texto para criar aplicativos. Em contraste com as linguagens de programação baseadas em texto, nas linguagens de programação baseadas em texto, além da programação baseada em fluxo de dados, as instruções determinam a execução do programa e o fluxo de dados determina a execução. Nele, um conjunto de ferramentas e objetos podem ser usados para construir uma interface de usuário. A interface do usuário é chamada de painel frontal. Você pode então usar a representação gráfica da função para adicionar código para controlar os objetos do painel frontal. O diagrama de blocos contém este código. Em alguns aspectos, o diagrama de blocos é semelhante a um fluxograma. O LabVIEW é totalmente integrado e pode se comunicar com vários hardwares, como GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485, USB e dispositivos DAQ plug-in.

O LabVIEW também possui recursos internos para conectar sua aplicação a Internet, utilizando o LabVIEW Web Server e aplicativos como ActiveX e redes TCP/IP.

Utilizando o LabVIEW, se pode criar aplicações de teste e medição, aquisição de dados, controle de instrumento, registro de dados, análise de medição e geração de relatório. Também pode criar executáveis e bibliotecas compartilhadas, como DLLs, já que o LabVIEW é um compilador real de 32 bits. O LabVIEW pode ser adquirido facilmente no site da National Instruments com uma licença gratuita por alguns dias

3.4 Ambiente de programação LabVIEW

Os programas em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais (*Vis - Virtual Instruments*). Os *Vis* contêm três componentes principais: o painel frontal, o diagrama de bloco e o painel de ícones e conectores. O painel frontal é a interface com o usuário a Figura 05 a exibe um painel frontal.

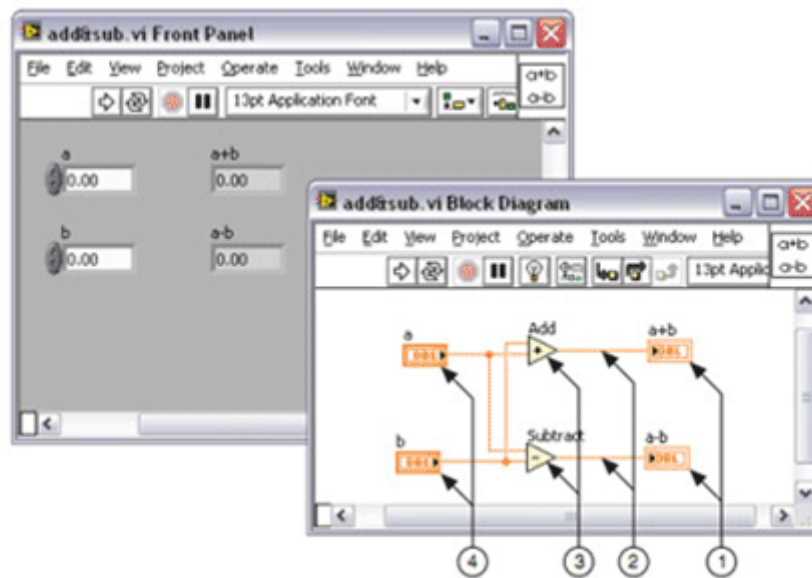


Autor: FLIPFLOP

Figura 05 – Painel Frontal Para Usuário Interagir Com O Sistema

O painel frontal(Figura 05) pode ser montado com controles e indicadores, que são os terminais interativos de entrada e saída do *VI*, respectivamente. Controles são botões, botões de pressão, *dials* e outros dispositivos de entrada. Indicadores são gráficos, *LEDs* e outros displays. Os controles simulam dispositivos de entrada de instrumentos e fornecem dados para o diagrama de bloco do *VI*. Os indicadores simulam dispositivos de saída de instrumentos e exibem os dados que o diagrama de bloco adquire ou gera.

Após a montagem do painel frontal, utilizando representações gráficas de funções, é possível construir o código para controlar os objetos do painel frontal. O diagrama de bloco contém este código. Os objetos do painel frontal aparecem como terminais, exibidos à esquerda, no diagrama de bloco. Não se pode excluir um terminal do diagrama de bloco. O terminal desaparece somente após a exclusão de seu objeto correspondente do painel frontal. Os objetos do diagrama de bloco incluem terminais, subVIs, funções, constantes, estruturas e ligações, que transferem dados entre outros objetos do diagrama de bloco isso e possível ver na Figura 06.



Autor: National Instruments

Figura 06 – Painel Frontal E Diagrama De Blocos Do Sistema

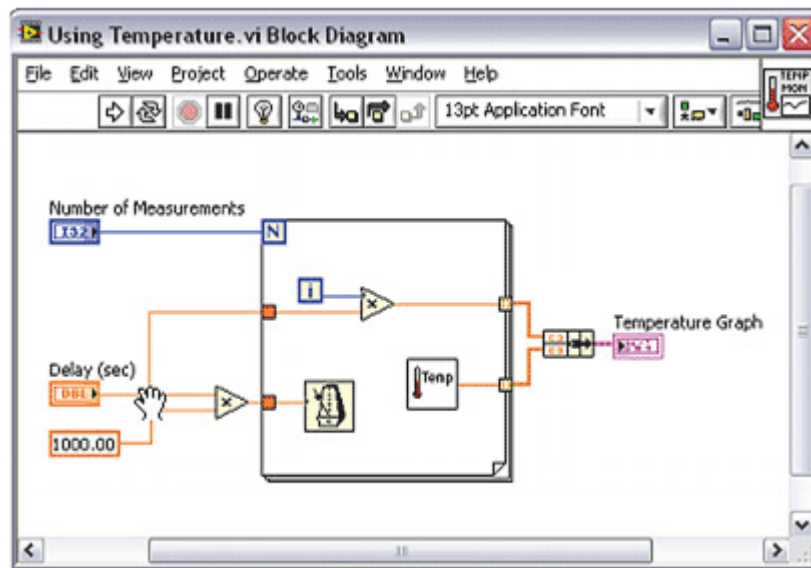
Após montar o painel frontal e o diagrama de blocos, você pode montar o ícone e o painel de conectores para que possa usar o VI em outro VI. O VI no outro VI é chamado de subVI. SubVI corresponde a uma sub-rotina em uma linguagem de programação baseada em texto. Todos os VIs exibem um ícone no canto superior direito da janela do painel frontal e o diagrama de blocos, conforme mostrado à esquerda. O ícone é uma representação gráfica do VI. Ele pode conter texto, imagens ou uma combinação de ambos. Se você usar um VI como um subVI, o ícone identificará o subVI no diagrama de blocos do VI. Você também precisa montar um painel de conectores, conforme mostrado à esquerda, para usar o VI como um subVI. O painel de conectores é um conjunto de terminais correspondentes aos controles e indicadores do VI, semelhante à lista de parâmetros de uma chamada de função em uma linguagem de programação baseada em texto.

O painel de conectores define as entradas e saídas que podem ser ligadas ao VI para que este possa ser utilizado como um subVI. Um painel de conectores recebe dados em seus terminais de entrada e transferem os dados para o código do diagrama de bloco através dos controles do painel frontal, recebendo os resultados em seus terminais de saída dos indicadores do painel frontal.

A vantagem do LabVIEW está na natureza hierárquica do VI. Após a criação de um VI, pode utilizá-lo como um subVI no diagrama de bloco de um VI de alto nível. Não existe limite para a quantidade de níveis na hierarquia. A utilização de subVIs ajuda a gerenciar alterações e a depurar o diagrama de bloco rapidamente.

À medida que os VIs são criados, pode -se perceber que uma determinada operação é executada com frequência. Considere a possibilidade de utilizar subVIs ou loops (ciclos) para

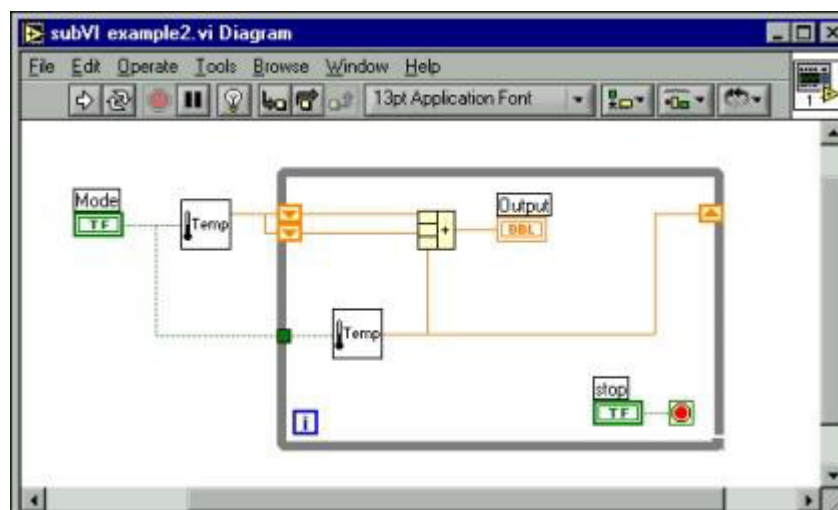
executar essa operação de forma repetitiva. O diagrama de bloco da figura 07 contém uma operação em loop.



Autor: National Instruments

Figura 07 – Operação Em Loop Para Medida De Temperatura

É possível criar um subVI que execute essa operação e chamar o subVI duas vezes. Também pode reutilizar o subVI em outros VIs. O exemplo a seguir da Figura 08 utiliza o VI Temperature como um subVI em seu diagrama de bloco.

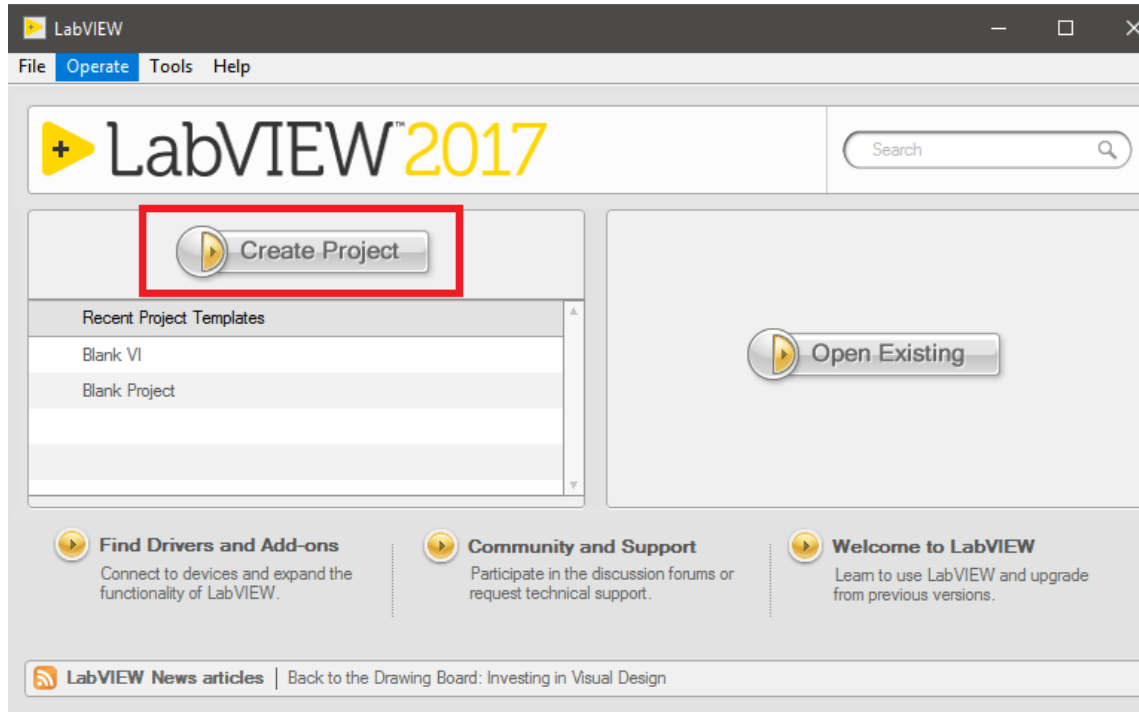


Autor: National Instruments

Figura 08 - VI Temperature Como Um Subvi

3.5 Como iniciar no Labview

Quando inicia o LabVIEW, a Figura 09 é a caixa de diálogo aparece



Autor: National Instruments

Figura 09 – Tela Inicial Labview

A caixa de diálogo LabVIEW inclui os seguintes componentes:

O botão New VI para criar um novo VI. Clique na seta ao lado do botão para criar um outro tipo de objeto em LabVIEW, como um controle.

O botão Open VI para abrir um VI já existente. Clique na seta ao lado do botão para abrir arquivos abertos recentemente.

O botão DAQ Solutions para inicializar o DAQ Solution Wizard, que ajuda a localizar soluções comuns para as aplicações em aquisição de dados.

O botão Search Examples para abrir um arquivo de ajuda que lista todos os exemplos de VIs do LabVIEW disponíveis.

O botão LabVIEW Tutorial para abrir o LabVIEW Tutorial interativo. Utilize esse tutorial para aprender conceitos básicos do LabVIEW.

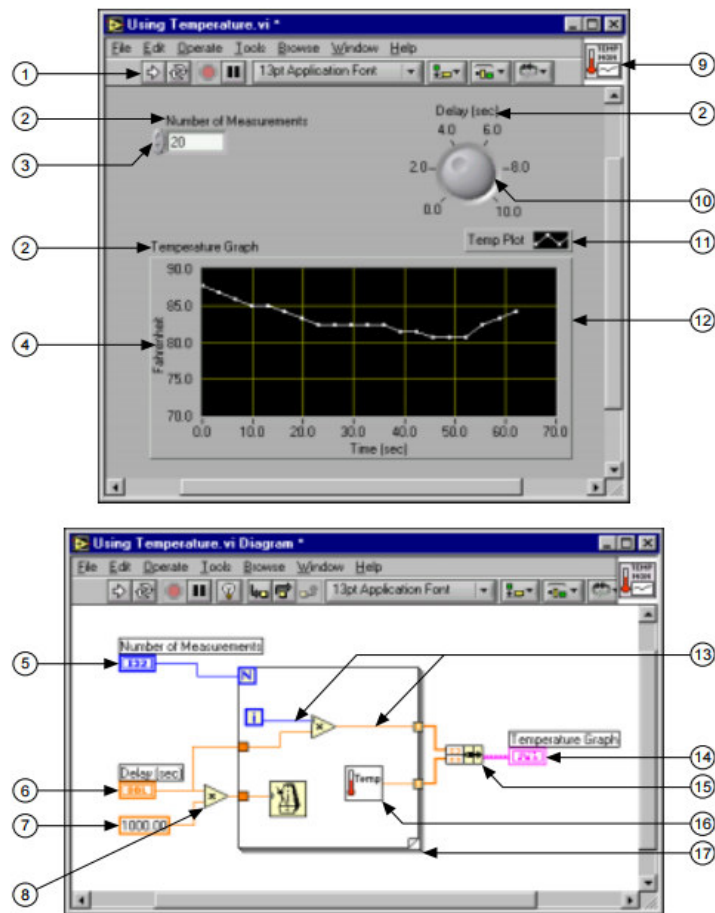
O botão Exit para fechar o LabVIEW. (Macintosh) Clique no botão Quit.

A seção Quick Tip para aprender mais sobre o LabVIEW. Clique no botão Next para visualizar mais dicas.

A caixa de seleção Do not show this window when launching para desabilitar essa caixa de diálogo.

3.6 Janelas do painel frontal e do diagrama de bloco

Quando clica no botão New VI, uma janela de painel frontal sem título aparece. A janela exibe o painel frontal e é uma das duas janelas do LabVIEW que utiliza para montar um VI. A outra janela contém o diagrama de bloco. A Figura 10 exibe uma janela de painel frontal e sua janela de diagrama de bloco correspondente



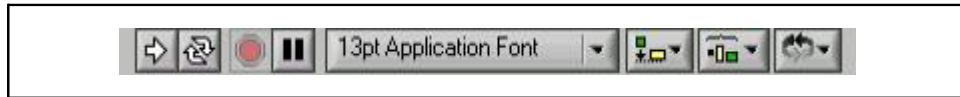
1 Barra de ferramentas	5 Terminal de controle numérico digital	9 Ícone	14 Terminal do gráfico XY
2 Título do objeto	6 Terminal de controle numérico	10 Controle numérico deslizante	15 Função de agrupamento
3 Controle numérico digital	7 Constante numérica	11 Legenda de plotagem	16 SubVI
4 Legenda livre	8 Função de multiplicação	12 Gráfico XY	17 Estrutura de For Loop
		13 Via de ligação de dados	

Autor: Apostila LabVIEW National Instruments

Figura 10 - Janela De Painel Frontal E Sua Janela De Diagrama De Bloco Correspondente

3.7 Barra de ferramentas do painel frontal

Utilize os botões da barra de ferramentas (Figura 11) para executar e editar um VI. A seguinte barra de ferramentas aparece no painel frontal.



Autor: National Instruments

Figura 11 - Barra De Ferramentas

O botão Run (Figura 12) para executar o VI. Durante a execução do VI, o botão será alterado conforme ilustrado a seguir, se o VI for um VI de alto nível.



Autor: National Instruments

Figura 12 - Botão Run

O botão Run muitas vezes aparece quebrado (Figura 13), conforme mostrado à esquerda, quando se cria ou edita um VI. Esse botão indica que o VI está com defeito e não pode ser executado. Clique nesse botão para exibir a janela Error list, que lista todos os erros.



Autor: National Instruments

Figura 13 - Botão Run Quebrado

Clique no botão Run Continuously (Figura 14) para executar o VI até que anule ou interrompa sua execução. Também é possível clicar no botão novamente para desabilitar a execução contínua.



Autor: National Instruments

Figura 14 - Botão Run Continuously

Durante a execução do VI, o botão Abort Execution (Figura 15) aparece. Clique nele para parar a execução do VI imediatamente.



Autor: National Instruments

Figura 15 - O Botão Abort Execution

Clique no botão Pause (Figura 16) para dar uma pausa na execução de um VI. Quando se clica no botão Pause, o LabVIEW destaca no diagrama de bloco o local onde a execução foi interrompida. Clique no botão novamente para continuar executando o VI.



Autor: National Instruments

Figura 16 - Botão Pause

Selecione o menu Text Settings (Figura 17) na barra de ferramentas para alterar as configurações de fonte do VI, incluindo tamanho, estilo e cor.



Autor: National Instruments

Figura 17 - Menu Text Settings

Selecione o menu Align Objects (Figura 18) na barra de ferramentas para alinhar objetos ao longo dos eixos, incluindo vertical, margem superior, esquerdo, e assim por diante.



Autor: National Instruments

Figura 18 - Menu Align Objects

Selecione o menu Distribute Objects (Figura 19) na barra de ferramentas para distribuir objetos uniformemente, incluindo intervalos, compressão, e assim por diante.



Autor: National Instruments

Figura 19 - Menu Distribute Objects

3.8 Paletas

O LabVIEW tem paletas gráficas flutuantes para ajudar na criação e execução dos VIs. As três paletas são Tools, Controls e Functions. pode posicionar essas paletas em qualquer lugar da tela.

3.8.1 Paleta Tools

Se pode criar, modificar e depurar VIs, utilizando as ferramentas localizadas na paleta flutuante Tools. A paleta Tools (Figura 20) está disponível no painel frontal e no diagrama de bloco. Uma ferramenta é um modo especial de operação do cursor do mouse. Quando é selecionada uma ferramenta, o ícone do cursor é alterado para o ícone da ferramenta. Utilize as ferramentas para operar e modificar objetos do painel frontal e do diagrama de bloco.

Selecione Window»Show Tools Palette para exibir a paleta Tools. pode posicionar a paleta Tools em qualquer lugar da tela. Pressione a tecla <Shift> e clique com o botão direito para exibir uma versão temporária da paleta Tools na posição do cursor.

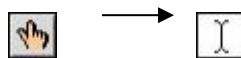


Autor: National Instruments

Figura 20 - Paleta Tools

Para alternar entre as ferramentas da paleta Tools, pressione a tecla <Tab>. Para alternar entre as ferramentas Positioning e Wiring no diagrama de bloco ou entre as ferramentas Positioning e Operating no painel frontal, pressione a barra de espaço.

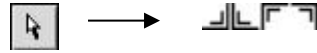
Utilize a ferramenta Operating(Figura 21) para alterar os valores de um controle ou selecionar o texto em um controle. A ferramenta Operating é alterada para o seguinte ícone ao ser movida sobre um controle de texto, como um controle digital ou de string.



Autor: National Instruments

Figura 21 - Operating

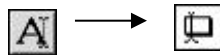
Utilize a ferramenta Positioning (Figura 22) para selecionar, mover ou redimensionar objetos. A ferramenta Positioning é alterada para um dos seguintes ícones ao ser movida sobre um canto de um objeto redimensionável.



Autor: National Instruments

Figura 22 - Positioning

Utilize a ferramenta Labeling (Figura 23) para editar texto e criar legendas livres. A ferramenta Labeling é alterada para o seguinte ícone quando se cria legendas livres.



Autor: National Instruments

Figura 23 - Labeling

Utilize a ferramenta Wiring (Figura 24) para ligar objetos no diagrama de bloco.



Autor: National Instruments

Figura 24 - Wiring

Utilize a ferramenta Object Shortcut (Figura 25) Menu para acessar ao menu de atalho de um objeto com o botão esquerdo do mouse.



Autor: National Instruments

Figura 25 - Object Shortcut

Utilize a ferramenta Scrolling (Figura 26) para percorrer as janelas sem utilizar as barras de rolagem.



Autor: National Instruments

Figura 26 - Scrolling

Utilize a ferramenta Breakpoint (Figura 27) para definir pontos de parada em VIs, funções, nós, ligações e estruturas, a fim de interromper a execução naquela localização.



Autor: National Instruments

Figura 27 - Breakpoint

Utilize a ferramenta Probe (Figura 28) para criar sensores no diagrama de bloco. Utilize essa ferramenta para verificar valores intermediários em um VI que apresenta resultados questionáveis ou inesperados.



Autor: National Instruments

Figura 28 – Probe

Utilize a ferramenta Color Copy (Figura 29) a fim de copiar cores para serem coladas com a ferramenta Coloring.



Autor: National Instruments

Figura 29 - Color Copy

Utilize a ferramenta Coloring (Figura 30) para colorir um objeto. Ela também exibe as configurações atuais de cores de primeiro plano e de fundo.



Autor: National Instruments

Figura 30 - Coloring

3.9 Paletas Controls e Functions

As paletas Controls e Functions contêm subpaletas de objetos que podem ser utilizadas para criar um VI. Quando é clicado em um ícone de subpaleta, a paleta inteira é alterada para a subpaleta selecionada. Para utilizar um objeto das paletas, clique no objeto e coloque-o no painel frontal ou no diagrama de bloco.

Utilize os botões de navegação das paletas Controls e Functions para navegar por controles, VIs e funções, bem como para pesquisá-los. Também é possível clicar com o botão direito em um ícone de VI da paleta e selecionar Open VI no menu de atalho para abrir o VI.

3.9.1 Paleta Controls

Utilize a paleta Controls (Figura 31) para indicar controles e indicadores no painel frontal. A paleta Controls está disponível somente no painel frontal. Selecione Window»Show Controls Palette ou clique com o botão direito no espaço de trabalho do painel frontal para exibir a paleta Controls. também pode exibir a paleta Controls clicando com o botão direito em uma área aberta do painel frontal. Fixe a paleta Controls, clicando no pino, localizado no canto superior esquerdo da paleta.



Autor: National Instruments

Figura 31 - Paleta Controls

3.9.2 Paleta Functions

Utilize a paleta Functions (Figura 32) para montar o diagrama de bloco. A paleta Functions está disponível somente no diagrama de bloco. Selecione Window»Show Functions Palette ou clique com o botão direito no espaço de trabalho do diagrama de bloco para exibir a paleta Functions. Também é possível exibir a paleta Functions clicando com o botão direito em uma área aberta do diagrama de bloco. Fixe a paleta Functions clicando com o botão direito em uma área aberta do diagrama de bloco. Fixe a paleta Functions clicando no pino, localizado no canto superior esquerdo da paleta.



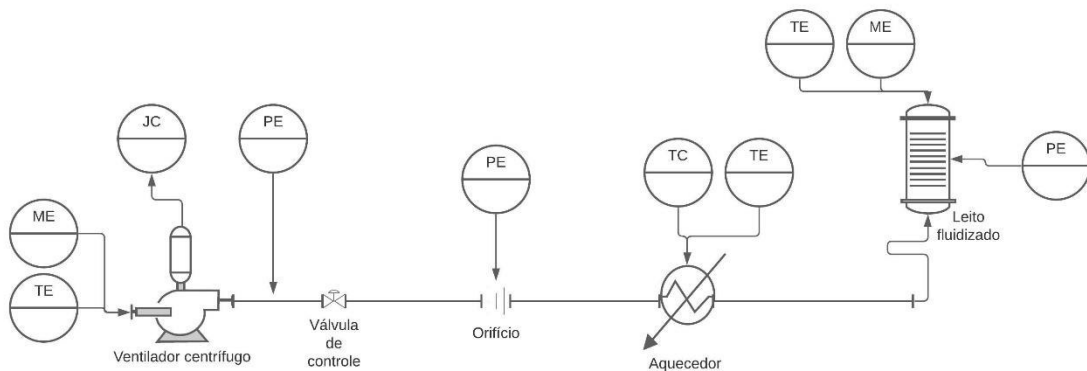
Autor: National Instruments

Figura 32 - Paleta Functions

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo é desenvolvido em uma instalação experimental de laboratório. A instalação consiste em um leito de partículas em pequena escala preparado para fluidização e um equipamento de controle e medição. No trabalho realizado, foi efetuado o desenvolvimento da instalação, desde a concepção estrutural do secador do leito fluidizado até o software necessário para a realização das medições.

As seções a seguir detalham as diferentes partes, bem como todos os elementos que constituem cada uma delas. Um diagrama da instalação pode ser visto na Figura 33.



Autor: Autor Próprio

Figura 33 – Esquema Secador De Leito Fluidizado

Tabela 01 – Tabela com significados das simbologias de controle da Figura 33

Simbologia	Significado
TE	Medidor de temperatura
TC	Controlador de temperatura
ME	Medidor de umidade
JC	Controlador de corrente
PE	Medidor de pressão

4.1 Leito

O leito, é o meio físico onde ocorre a fluidização. O leito contém todos os elementos necessários para realizar a fluidização: coluna, distribuidor, tomadas para sensores, e pleno. Uma fotografia do leito é mostrada na Figura 34.

Para descrever os diferentes elementos que compõem o leito, seguiremos a ordem em que o fluxo de gás passa por eles.

4.1.1 Pleno:

é a parte do leito por onde introduzimos o gás. A entrada do gás é feita axial ao leito e, o pleno é utilizado como câmara de refluxo onde estabilizamos o gás. O pleno é constituído por um prisma retangular de painéis sanduiche com placas externas de alumínio e núcleo de madeira compensada com área de base quadrada de 0,350m e altura de 0,7m. Em seu interior, abriga uma resistência elétrica de 2000 watts para aquecer o ar e uma conexão para uma sonda de temperatura.

4.1.2 Distribuidor:

Se continuarmos o fluxo de gás encontramos o distribuidor, que garante que o fluxo de gás seja o mais uniforme possível. Para fazer isso, passamos o gás por uma matriz de orifícios através dos quais um perfil uniforme será alcançado graças ao efeito das diferentes quedas de pressão em função da velocidade. O distribuidor é composto por um disco perfurado de aço inox com uma matriz de 123 orifícios de 3,5 mm de diâmetro.

4.1.3 Coluna:

O fluxo do gás passa pelo distribuidor até a coluna, onde estão localizadas as partículas. A coluna é composta por um tubo de vidro cônico transparente de 0,10m de diâmetro inferior e 0,14m de diâmetro superior com 0,75m de altura. Sua parede está preparada para abrigar três sondas de pressão. A extremidade superior da coluna está equipada com sensores de umidade e temperatura e aberta, de modo que as condições de operação estão a pressão ambiente. O leito é suportado pelo pleno que está fixo a uma base construída com perfis de ferro quadrados de 0,265m.

As diferentes entradas localizadas na parede da coluna para alojar as sondas de pressão estão localizadas a uma distância de 0,10m e 0,20m acima do distribuidor, e uma outra justo antes do distribuidor como apresentado na figura 34.

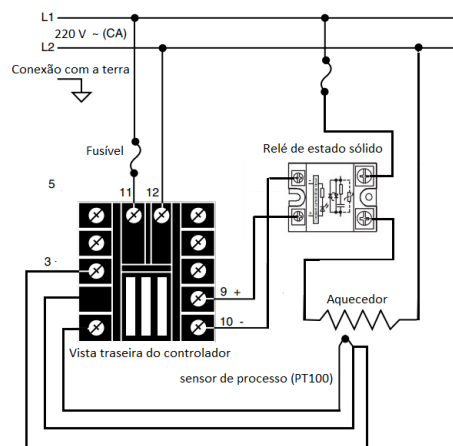


Autor: Autor Próprio

Figura 34 – Tomadas de pressão na coluna do leito

4.2 Sistema de aquecimento

O sistema de aquecimento do gás de secagem é constituído de uma resistência elétrica com potência nominal de 2000 Watt alimentada em tensão alternada de 220 volts, e um controlador industrial de processo em malha fechada (retroalimentada) da série 93 de fabricação da Watlow, que dispõe de algoritmo PID para o controle da temperatura do ar, baseado em microprocessador DIN 1/16. Este controle tem: uma única entrada, onde é ligado o sensor de temperatura RTD Pt100 de 3 fios; duas saídas para controle, das quais utilizamos somente uma para acionar um relé de estado sólido para controlar o fluxo de carga que passa através da resistência elétrica utilizada como elemento para aquecimento do ar. O esquema simplificado de este sistema pode ser visualizado na Figura 35.



Autor: Autor Próprio

Figura 35 – fiação do controlador de temperatura do ar

4.2.1 Controlador de temperatura PID

O elemento responsável pelo controle de temperatura do leito é um controlador PID (Proporciona Integral e Derivativo), As principais características deste controlador são:

- Modelo: Controlador Regulador Termostato Watlow serie 93.
- Saída 1: Para rele de estado solido
- Alimentação: 100-240 VCA 50/60 Hz
- Tipos de Sensores aceitos: Termopar tipo K, J, S, N, T; RTD ou processo.

A figura 36 apresenta este controlador



Autor: Watlow

Figura 36 – controlador de temperatura Watlow serie 93

4.2.2 Relé de estado sólido

O relé de estado sólido (Figura 37) é o dispositivo responsável por realizar o chaveamento de cargas.

Quando o relé adquire uma certa tensão em sua entrada, é fechada dentro do relé uma chave eletrônica, o que ocasiona o que é chamado de chaveamento de cargas. As principais características do relé utilizado são:

- Modelo: Relé de Estado Sólido SSR-40 DA (datasheet)
- Tensão de entrada/controle: 3 32 VDC
- Tensão de trabalho: 250V

- Corrente máxima suportada: 40A
- Tempo de chaveamento < 10 ms
- Tipo de contato: normalmente aberto
- Temperatura de operação: -20°C até 80°C



Autor: www.wjcomponentes.com.br

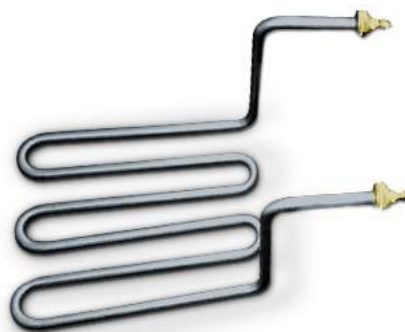
Figura 37 – relé de estado sólido

4.2.3 Atuador de aquecimento

A resistência elétrica (Figura 38) é muito utilizada em projetos eletrônicos por possuir a capacidade de converter a energia elétrica em energia térmica. Em fabricação de resistências para projetos de altas temperaturas, como estufas de secagem, fornos de tratamentos térmicos, para fabricação de aço por exemplo entre outros, onde as temperaturas chegam até 1400 °C as resistências utilizadas em estufas possuem características específicas como blindagem em titânio, ferro, aço inoxidável além de possuírem um trabalho de isolamento de óxido de magnésio compactado.

As principais características da resistência elétrica utilizada são:

- Dupla blindagem de inox, isolado dielectricamente com MgO altamente compactado.
- Voltagem: até 230 V.
- Potência: 2000 Watt.
- Temperatura máxima: até 400 °C.



Autor: www.pmrresistencias.com.br

Figura 38 – Resistencia para aquecimento de ar

4.3 Sistema de ar

O gás usado para fluidificar o leito é o ar pressurizado que obtemos de um compressor centrifugo. A vazão do ar pode ser variada utilizando uma válvula ou também utilizando um inversor de frequência que controla a velocidade de rotação do compressor (0 rpm até 3480 rpm). Os valores da vazão do ar de entrada no leito foram obtidos pelas medidas de pressão estática na linha em pascal e queda de pressão na placa de orifício, cujos valores inseridos na equação de calibração (02) e substituídos na equação (03) permitem a obtenção da vazão mássica do ar (Q) em metros cúbicos por minuto.

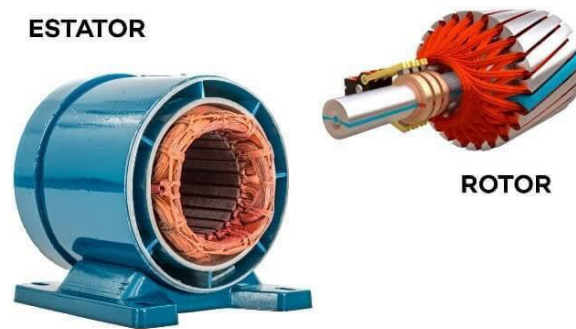
$$(P - 2.7) * 1000 = \Delta P \quad (02)$$

$$Q = 0.00144166 * 0.61 * \sqrt{\Delta P} * 60 \quad (03)$$

Os valores experimentais da velocidade do ar foram calculados dividindo-se o valor da vazão volumétrica de ar pela área de entrada do leito. A queda de pressão no leito foi obtida em pascal. Os valores de queda de pressão no leito correspondentes a cada valor de vazão de ar de entrada podem ser colocados em um gráfico, obtendo-se assim a curva que é denominada curva fluidodinâmica característica do leito.

4.3.1 Motor

Motores são equipamentos responsáveis por transformar formas de energia. O motor elétrico transforma energia elétrica em energia mecânica. Os componentes básicos do motor elétrico são carcaça, estator e rotor, como segue a figura 39.

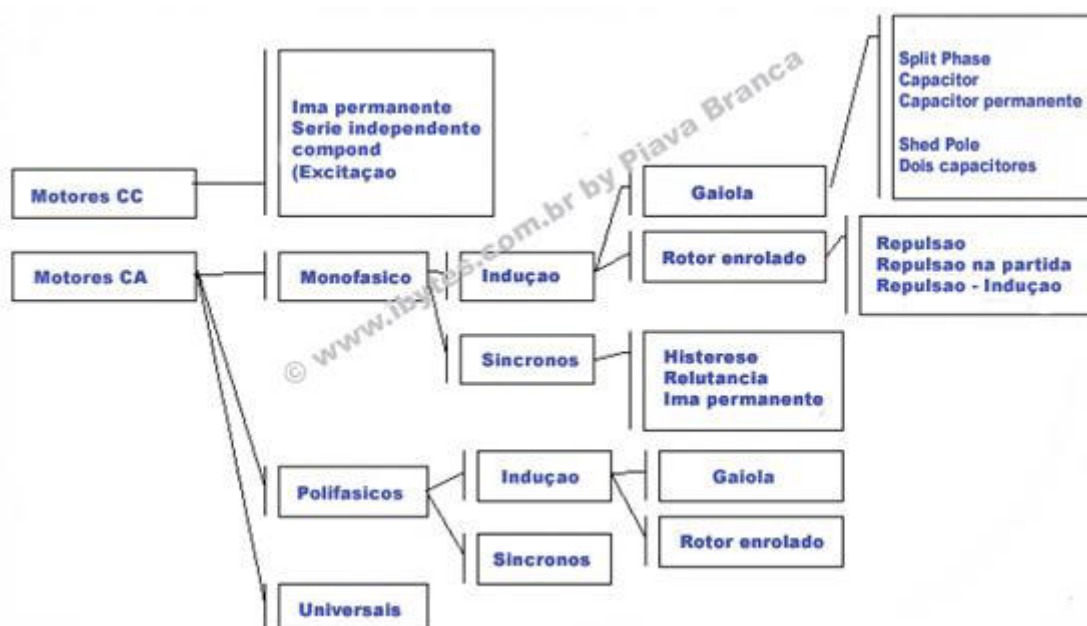


Autor: neocharge

Figura 39 – Elementos do motor

4.3.1.1 Tipos

Os motores elétricos são classificados segundo a sua forma construtiva se dividindo em dois grandes grupos: Motores de corrente contínua –CC– e motores de corrente alternada –AC– segundo o organograma da figura 40.



Autor: IBYTES

Figura 40 – Tipos de motores

4.3.1.2 Trifásicos

Os motores trifásicos têm por característica a sua alta eficiência, alto torque de partida sem a necessidade de capacitores ou enrolamento auxiliar ficando menos susceptíveis problemas, pois com menos mecanismos, menor é o desgaste e a possível manutenção.

Utilizado em uma gama grande de potências. É menor que os motores monofásicos com a mesma potência acarretando um custo mais baixo.

4.3.1.3 Velocidade de rotação do motor

Os motores síncronos têm este nome devido ao rotor do motor acompanhar o campo eletromagnético girante gerado pelo estator, ou seja, ficam em sincronia mantendo o torque independentemente da carga movimentada. A velocidade desenvolvida pelo motor síncrono depende de dois fatores: Número de polos e Frequência de alimentação. Conseguimos notar tal influência quando mostrado matematicamente pela equação 04.

$$N = \frac{120 * f}{nP} \quad (04)$$

N –Velocidade do motor (RPM)

f –Frequência de alimentação do motor (Hz)

nP –Número de polos do motor

Os motores assíncronos têm este nome devido ao rotor do motor não acompanhar o campo eletromagnético girante do estator, havendo uma defasagem entre os dois, chamado escorregamento. Têm a sua velocidade dependente da carga movimentada e varia de 3% a 5% da velocidade do motor síncrono. Quanto maior é a potência do motor, menor é o escorregamento. Com isto, o motor de 2 polos tem a rotação nominal de 3500 rpm enquanto que o de 4 polos tem a metade desta rotação nominal, 1750 rpm. Com relação às bombas, uma hidráulica instalada num motor 4 polos fornece uma menor vazão e menor pressão quando comparado à mesma hidráulica instalada num motor 2 polos, porém desenvolve um torque maior, devido à Lei de Semelhança de bombas que relaciona a velocidade com a vazão, pressão e potência como mostrado na equação 05.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{Q_2}{Q_1} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} = \sqrt{\frac{Pot_2}{Pot_1}} \quad (05)$$

Com isto entendemos melhor a relação da velocidade do motor e a curva característica da bomba

4.3.2 Inversor de frequência

O Inversor de Frequência é um dispositivo de controle da velocidade e torque de um motor de corrente alternada por um comando eletrônico. Este equipamento tem sido bastante utilizado nas mais variadas áreas como elevadores, máquinas-ferramenta, bombas, tração mecânica, etc.

O Inversor de Frequência possui internamente um controlador proporcional integral derivativo (PID) o qual permite que o equipamento seja programado para acionar o motor de forma controlada mantendo a variável de processo sempre estável e foram desenvolvidos para trabalhar com motores de corrente alternada (ca). Ele é um dos principais dispositivos de automação industrial e a sua evolução tem contribuído para a otimização das plantas fabris tanto nos processos ditos contínuos como nas manufaturas.

A razão para tal é a facilidade de utilização de motores de corrente alternada visto que é nesta forma que a energia é distribuída. Pode-se resumir as vantagens do uso de inversores no acionamento de motores de corrente alternada em cinco grupos:

1) OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO:

O inversor contribui para a redução das taxas de rejeição (perdas) e consumo de material na produção;

2) SUAUIZACÃO DE OPERACÃO DE MÁQUINAS:

O número de partidas separadas bruscas é sensivelmente reduzido. Através de rampas de aceleração e frenagem o impacto direto sobre os componentes mecânicos é minimizado, o que aumenta a vida útil do equipamento;

3) MENOR MANUNTENÇÃO:

Toda a tecnologia em corrente alternada dispensa manutenção preventiva. Como não há comutação entre escovas e coletor, típicas de motores de corrente contínua, a vida útil é maior;

4) ECONOMIA DE ENERGIA:

O inversor economiza energia elétrica. Dois clássicos exemplos são bombas e ventiladores em que o consumo é reduzido ao cubo. Um motor deste tipo, quando ligado a um

inversor a meia velocidade, gasta apenas 12,5% do que consumiria se estivesse ligado diretamente à rede elétrica.

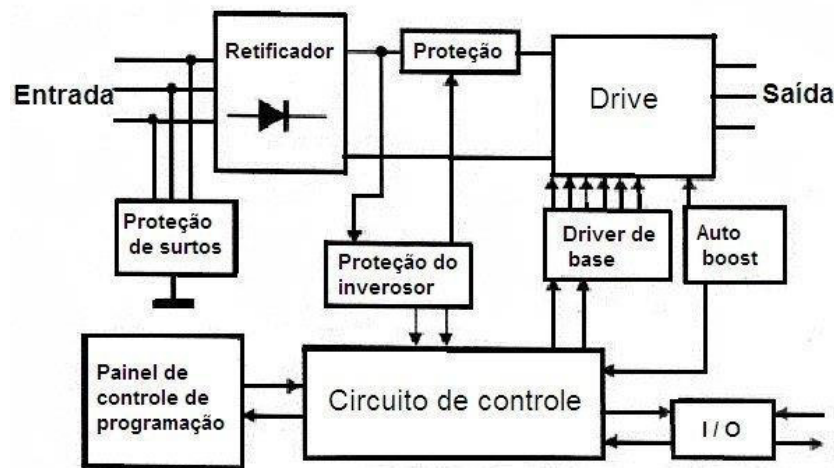
5) MELHORA NAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS:

A redução do ruído é uma vantagem do inversor em relação aos sistemas mecânicos de variação de velocidade.

4.3.2.1. Funcionamento de inversor de frequência

Conforme foi visto anteriormente, a velocidade de rotação de um motor de corrente alternada depende da frequência da sua alimentação. Quanto maior for a frequência maior será a rotação e vice-versa, considerando que o número de polos seja constante.

Tendo o número de polos do motor fixo (determinado na sua construção), variando a frequência de alimentação muda proporcionalmente a velocidade de rotação. De forma aproximada, pode-se dizer que o inversor de frequência é uma fonte de tensão alternada de frequência variável. Por isso o nome, “Inversor de Frequência”. Apesar de cada fabricante utilizar sua própria tecnologia, o diagrama de blocos ilustrado na figura 41 descreve bem grande parte dos Inversores encontrados no mercado.



Autor : Mundo da Elétrica

Figura 41 - Diagrama de blocos de um inversor de frequência

De acordo com a figura 41, o Inversor de Frequência pode ser dividido em quatro partes principais:

1)CPU–Central Processing Unit (Unidade Central de Processamento): Pode ser formada por um microprocessador ou um microcontrolador. Isto depende apenas do fabricante. De qualquer forma, é neste bloco que todas as informações (parâmetros e dados do sistema) estão armazenadas, visto que uma memória está integrada a este conjunto.

2)IHM–Interface Homem Máquina: É através deste dispositivo que se pode visualizar o que ocorre com o Inversor de Frequência e parametrizá-lo de acordo com a aplicação.

3)Interface: É composta por entradas digitais e analógicas, que podem ser utilizadas para receber ou fornecer sinais de comando ao Inversor de Frequência. É neste bloco que ocorre a comunicação externa ao dispositivo.

4)Bloco de Potência: É constituído de um circuito retificador capaz de transformar a corrente alternada que entra no Inversor de Frequência em corrente contínua e posteriormente em corrente alternada novamente com a frequência controlada.

4.3.2 Seleção do inversor de frequência

Inversor de Frequência utilizado é o modelo SINAMICS G110 (figura 42) com programação e interface computacional voltada para a aplicação multi -motores.



Autor: SIEMENS

Figura 42 - Quadro de comando com o inversor de frequência SINAMICS G110

4.3.3 Seleção dos parâmetros

Segue a parametrização do Inversor de Frequência. Aqui serão apresentados os principais parâmetros configurados, no entanto constará no apêndice a parametrização completa.

Tabela 02 – Parametrização do inversor de frequência

Parâmetro	Função	Configuração
P0003	Nível de acesso do usuário	2 (nível de acesso estendido)
P0010	Parâmetros de inicialização	1 (inicialização rápida)
P0100	Seleção de 50/60 Hz	2 (América do Norte [KW], 60 Hz)
P0304 Para V20 P0304 [OK] em ln 000 [OK]	Tensão nominal do motor [V]	Nota: A entrada de dados na placa de identificação deve corresponder à fiação do motor (estrela ou delta). 220
P0305 Para V20 P0305 [OK] em ln 000 [OK]	Corrente nominal do motor [A]	5.2
P307 Para V20 P0307 [OK] em ln 000 [OK]	Potência nominal do motor [KW]	1,1
P0308 Para V20 P0308 [OK] em ln 000 [OK]	Fator de potência nominal do motor (cosφ)	0,54
P0310 Para V20 P0310 [OK] em ln 000 [OK]	Frequência nominal do motor [Hz]	60
P0311 Para V20 P0311 [OK] em ln 000 [OK]	Velocidade nominal do motor [RPM]	3480
P0700 Para V20 P0700 [OK] em ln 000 [OK]	Selecionando a fonte do sinal de controle	2 (Terminais)
P1000	Seleção de ponto de ajuste de	2 (ponto de ajuste analógico)

frequência			
P1080			
Para V20 P1080	Frequência mínima do motor		5
[OK] em ln 000 [OK]	[Hz]		
P1082			
Para V20 P1082	Frequência máxima do motor		60
[OK] em ln 000 [OK]	[Hz]		
P1120			
Para V20 P1120	Tempo de aceleração [s]		10
[OK] em ln 000 [OK]			
P1121			
Para V20 P1121	Tempo de desaceleração [s]		10
[OK] em ln 000 [OK]			
P0010	Parâmetro de inicialização		0 (pronto)
P1032	Inibição da reversão de MOP		0 (habilitado)

4.4 MYRIO

O NI myRIO é um dispositivo de hardware embarcado desenvolvidos para que estudantes de engenharia consigam desenvolver sistemas complexos de engenharia de forma rápida e simples. O NI myRIO traz a tecnologia de system-on-a-chip (SoC) inteiramente programável, que combina um processador dual-core ARM Cortex –A9 e um field-programmable gate array(FPGA) com 28.000 células lógicas programáveis.

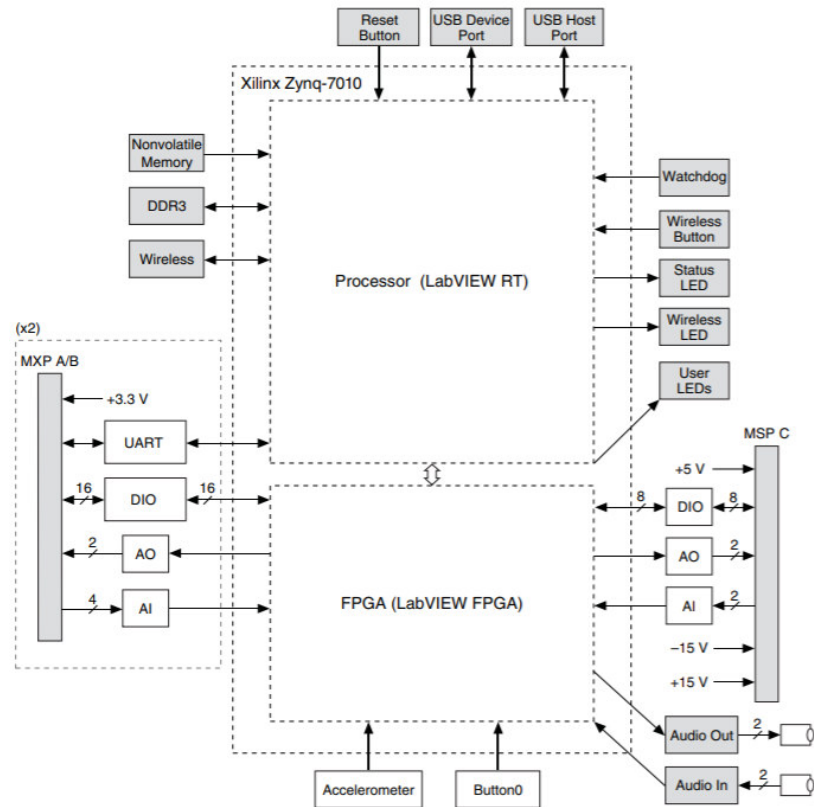
Usando o ambiente gráfico de programação do LabVIEW, estudantes conseguem programar o FPGA e expandir os seus sistemas em tempo real. Pode-se dizer que o ambiente de programação do LabVIEW deixou a programação do FPGA mais acessível, por ser uma linguagem de alto nível e de mais fácil assimilação do que as linguagens de máquina. Devido aos seus recursos internos, acesso a software transparente e biblioteca de recursos e tutoriais, o NI myRIO é uma ferramenta acessível com capacidade suficiente para realizar as tarefas de aquisição de dados e controle necessárias.

O NI myRIO-1900 oferece entradas analógicas (AI), saídas analógicas (AO), entradas e saídas digitais (DIO), áudio e saídas de energia em um dispositivo integrado compacto. O NI

myRIO-1900 se conecta a um computador (host) via cabo USB e via wireless 802.11b, [National Instrument users guide]. A Figura 43 mostra o layout e as funções dos componentes do NI myRIO-1900.

O NI myRIO-1900 oferece entrada analógica, saída analógica, entrada e saída digital, áudio e saída de energia. O NI myRIO-1900 se conecta a um computador host via USB e wireless 802.11b, g, n.

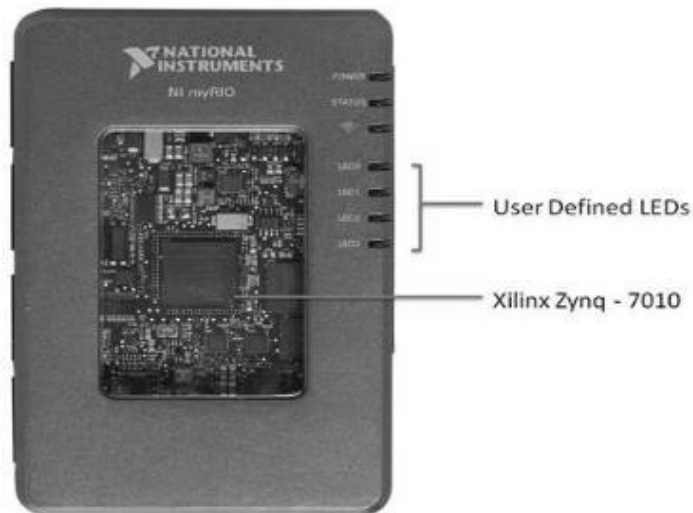
As portas MXP (as portas A e B), mostradas na Figura 44, ambas possuem 16 entradas-saídas digitais, 2 saídas analógicas, 4 entradas analógicas e canais de comunicação UART. Os canais também podem ser configurados para aceitar uma entrada do codificador, 3 saídas PWM e comunicação SPI e I2C. O MSP (a porta C) apresentada na Figura 45 tem 8 canais de entrada-saída digital, 2 saídas analógicas e 2 canais de entrada analógica. A porta C também pode aceitar 2 codificadores.



Autor : National Instruments

Figura 43 - Sinais primários / secundários nos conectores MXP A e B

A Figura 46 mostra o dispositivo utilizado no projeto.



Autor : National Instruments

Figura 46 - Ni myRIO utilizado no projeto

4.5 Termistor 10k

Como sensor elétrico de temperatura existem os termistores. O termistor NTC é um resistor que apresenta coeficiente negativo de temperatura, ou seja, é um elemento cuja resistência decresce com o aumento da temperatura, ao contrário dos metais, cuja resistência aumenta com a elevação da temperatura e, por isso, mesmo apresentam coeficiente positivo (FRADEN, 1996).

Esses sensores são fabricados a partir de óxidos semicondutores, predominantemente com uma mistura de óxidos metálicos, como: Fe₃O₄ com Zn₂TiO₄ (óxido de ferro com óxido de titânio e zinco) ou CoO com Li₂O (óxido de cobalto com óxido de lítio), que em geral atuam no intervalo de -100 até 300°C, com resistência ôhmica variando de 0,5 a 75M (FERREIRA, 2002). A expressão que descreve a dependência da resistência de um NTC pela temperatura é dada por:

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (06)$$

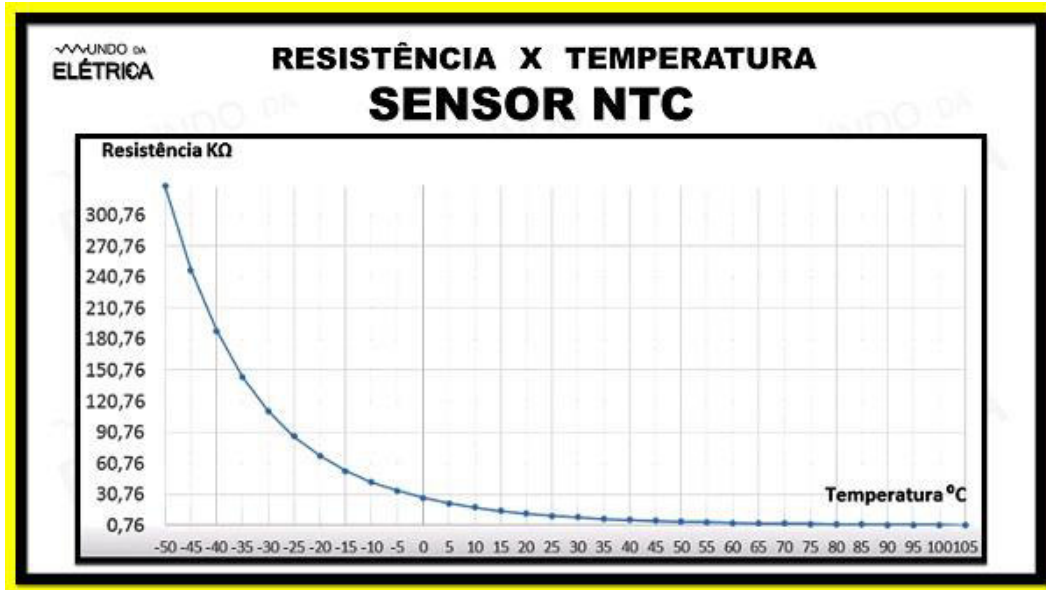
em que:

R= resistência do termistor numa temperatura T (K);

R₀= resistência do termistor numa temperatura T₀ (K);

β = constante do material de construção do termistor;

Na Figura 47, observa-se o comportamento não-linear de um termistor NTC, cuja expressão foi descrita anteriormente (Equação 06).



Autor : Mundo da elétrica

Figura 47 – Comportamento não-linear do termistor NTC na faixa de -50 a 105°C.

Para determinar o valor da constante do material (β) de um termistor NTC desconhecido, é medido o valor de sua resistência em duas temperaturas diferentes, T_1 e T_2 . Dessa forma, é estabelecida uma relação que permite obter esse valor (CIPELI et al., 2001).

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (07)$$

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (08)$$

Dividindo a Equação (07) pela (08), obtém-se:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{e^{\beta \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right)}}{e^{\beta \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_0} \right)}} \quad (09)$$

Aplicando, agora, o logaritmo neperiano em ambos os membros da expressão (09), tem-se:

$$\beta = \ln \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \left(\frac{1}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \right) \quad (10)$$

Pode-se, então, determinar a resistência R de um termistor NTC desconhecido, tomando-se como referência a temperatura de 25°C e utilizando a Equação (10), juntamente com a Equação (8), para temperaturas acima e abaixo de 25°C (CIPELI et al., 2001).

Para determinar temperatura acima de 25°C, tem-se equação 11:

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T_{25}} - \frac{1}{T_T} \right)} \quad (11)$$

Para determinar temperatura abaixo de 25°C, tem-se a equação 12:

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T_T} - \frac{1}{T_{25}} \right)} \quad (12)$$

Além do NTC, existem outros tipos de termistores que utilizam os mesmos princípios, com comportamentos resistivos e dopagem de material diferente, como: PTC, PTC metálico, termistores de cobre, platina e níquel entre outros. Os termistores disponíveis no mercado possuem formas de pontas de prova, discos e barras. Esses são geralmente utilizados em aparelhos compensadores de temperatura, controladores de tempo, controladores de voltagem e potência em circuitos eletrônicos (FERREIRA, 2002)

4.6 Termistor pt100

Termorresistor (RTD do inglês Resistance Temperature Detector) : São sensores que permite mensurar a temperatura através de uma relação direta entre suas resistências elétrica e a temperatura do meio, grande parte desses componentes são feitas de platina ou níquel mas há possibilidade de se encontrar em outros tipos de materiais. Esse tipo de sensor de temperatura é conhecido por possuir a característica de possuir alta precisão e excelente repetibilidade de leitura.

4.7 MEDIDOR DE VAZÃO COM PLACA DE ORIFÍCIO

A Figura 48, mostra a placa de orifício utilizada neste trabalho para medir a vazão do ar. A placa de orifício é um obstáculo ao escoamento que provoca um diferencial de pressão. Este diferencial de pressão proporcional à vazão é medido, usando um sensor de pressão diferencial que gera um sinal de tensão elétrica analógica. O sinal gerado é, então, condicionado e convertido em um valor equivalente de vazão através da curva de calibração implementada usando o programa LabVIEW.

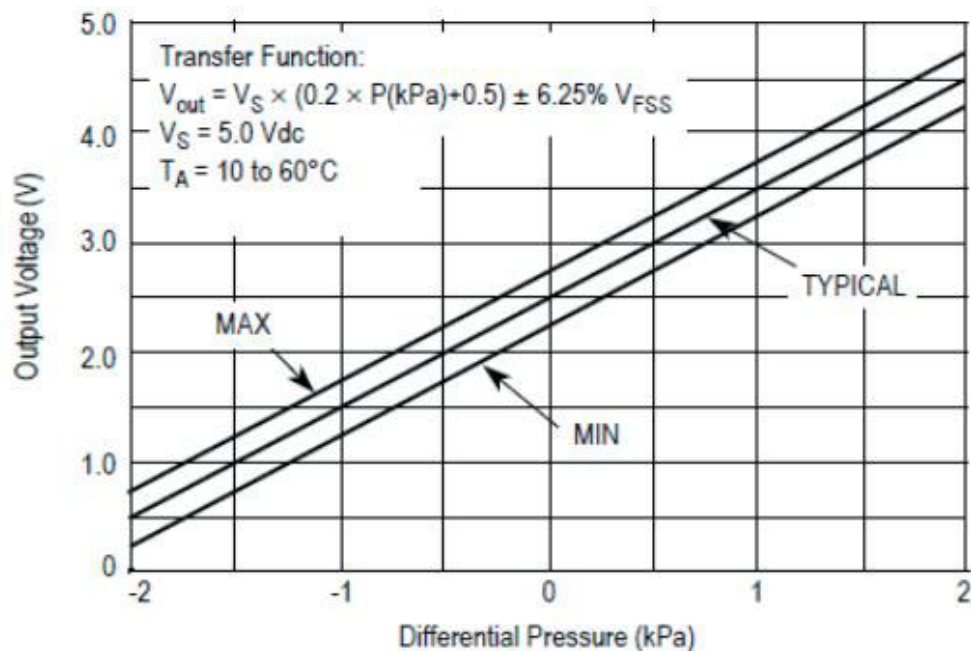


Autor: Autor Próprio

Figura 48 - Placa de orifício com suas tomadas de pressão diferencial

4.8 SENSORES DE PRESSÃO DIFERENCIAL MPXV7002DP

São três sensores de pressão diferencial deste tipo usado neste projeto, que cobrem uma faixa de pressão entre -2 a 2 kPa. escolhidos a partir dos cálculos efetuados no dimensionamento da placa de orifício e a queda estimada da pressão diferencial através do leito.



Autor: Datasheet do sensor de pressão diferencial MPXV7002DP

Figura 49 - Curva característica de resposta, em tensão elétrica, do sensor MPXV7002DP

No caso do sensor diferencial da placa de orifício, o sensor é acoplado fisicamente ao fluxo de ar através de mangueiras plásticas flexíveis conectadas às tomadas de pressão

utilizando conectores de engaste rápido BSP. O sensor possui duas entradas de ar, uma recebe a pressão da tomada a montante da placa de orifício, e a outra recebe a pressão a jusante da placa, portanto, obtém uma medida de pressão diferencial. Dessa forma, o sensor gera uma saída em tensão elétrica em volts proporcional à diferença de pressão entre as duas entradas, que é lida pela placa de aquisição de dados NI myRIO 1900 utilizando suas entradas analógicas e convertendo este valor de tensão a seu valor equivalente em pressão (Pa) através do programa Labview, utilizando a curva de calibração obtida do *datasheet* do fabricante do sensor quem disponibiliza esta curva apresentada na figura 49.

4.9 Medidores de umidade tipo hih-40xx

A umidade relativa do ar também pode ser medida por sensores eletrônicos, os quais que são baseados em um princípio capacitivo, onde um pequeno capacitor tem como material dielétrico o ar atmosférico e de acordo com a variação de sua umidade ocorre uma diferenciação no sinal devido a uma diminuição ou aumento da sua capacidade dielétrica. Segundo Silva (2000), estes tipos de sensores são bastante sensíveis e apresentam variação linear da capacitância elétrica, com umidade relativa entre 0 a 75% e precisão em torno de 2%. Nesta faixa o tempo de resposta é muito rápido, em torno de alguns milésimos de segundo, muito embora se torne mais lento com a redução da umidade relativa (PEARCY et al.,1989). Assim, diversos trabalhos tem se baseado em dados coletados por esse tipo de sensor como Velloso (2008) em seu trabalho sobre a climatização interna de galpões com criação suína utilizando o processo de nebulização, o qual utilizou seis sensores (RHS - NOVUS Produtos Eletrônicos Ltda) distribuídos uniformemente de modo a se obter valores concretos de umidade relativa do ar, onde concluiu que, em relação às variáveis reprodutivas, a climatização automatizada não foi suficiente para melhorar a qualidade do ejaculado dos animais submetidos a ela no período de tempo em que o experimento foi realizado.

Em outro trabalho Silveira et al. (2009) afirma que a permeabilidade ao ar é uma propriedade do solo importante na identificação de alterações no espaço poroso do solo causadas pelas práticas de manejo, na estimativa de outras propriedades do solo mais difíceis e onerosas e na composição de modelos de fluxo de fluídos em solos agrícolas e em solos contaminados. Assim, com o objetivo de construir um sistema automatizado de aquisição de dados (módulo eletrônico e programa computacional) para a medida da permeabilidade do solo ao ar em laboratório, foi medida a umidade relativa do ar em dois pontos, antes e após sua

passagem pelo solo, de modo que em cada ponto foram colocados dois sensores capacitivos de umidade relativa do ar (modelo HIH – 4000, “Honeywell”), o qual possibilitou ao sistema resultado com alto nível de precisão ($9,26 \pm 0,086 \mu\text{m}^2$), ao estimar a remoção de água da amostra durante o processo de medida.

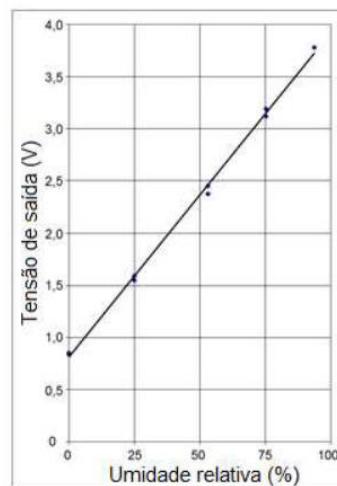
O sensor HIH-400-001 visto na figura 50 é um sensor linear de umidade relativa do ar, pouco comum no mercado brasileiro. Quanto maior a umidade maior é a tensão de saída. Sensor de fácil montagem pode ser conectado diretamente no Arduino e sua saída é linear. Com 0 de umidade o sensor acusa uma tensão de 0,826V, e a cada 0,0314V equivale a um ponto percentual de umidade relativa.



Fonte: “Honeywell

Figura 50 - Sensor de umidade relativa HIH 4000-004

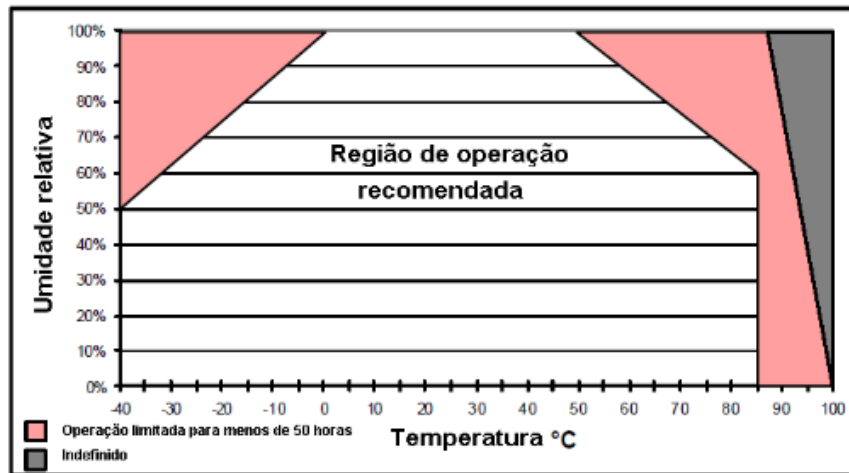
A relação da tensão de saída do sensor HIH 4000-004 com a umidade relativa é ilustrada na Figura 51.



Autor : Autor Próprio

Figura 51 - Tensão de saída do sensor HIH 4000 versus umidade relativa (%)

Na Figura 52 pode-se observar a região de operação do sensor de umidade HIH 4000-004.

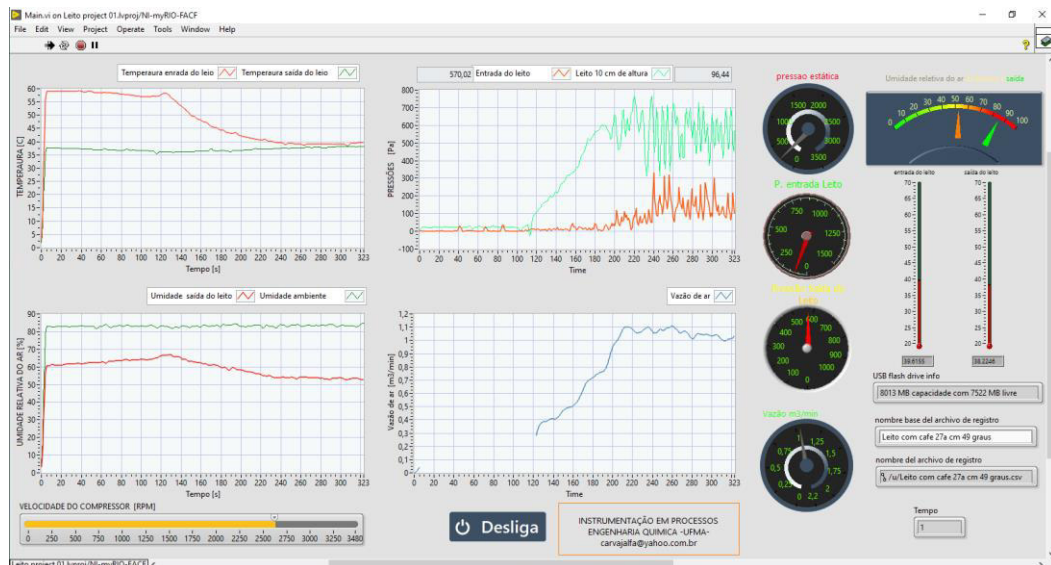


Autor: Autor próprio

Figura 52 - Região de operação do sensor de umidade HIH 4000-004

4.10 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Os recursos de programação da linguagem gráfica LabVIEW® fornecem ferramentas suficientes para implementar o sistema de aquisição de dados e a estratégia de controle manual desenvolvida neste trabalho. O LabVIEW possui um painel frontal e um diagrama de blocos. A figura 53 mostra o painel frontal desenvolvido especificamente para este trabalho.



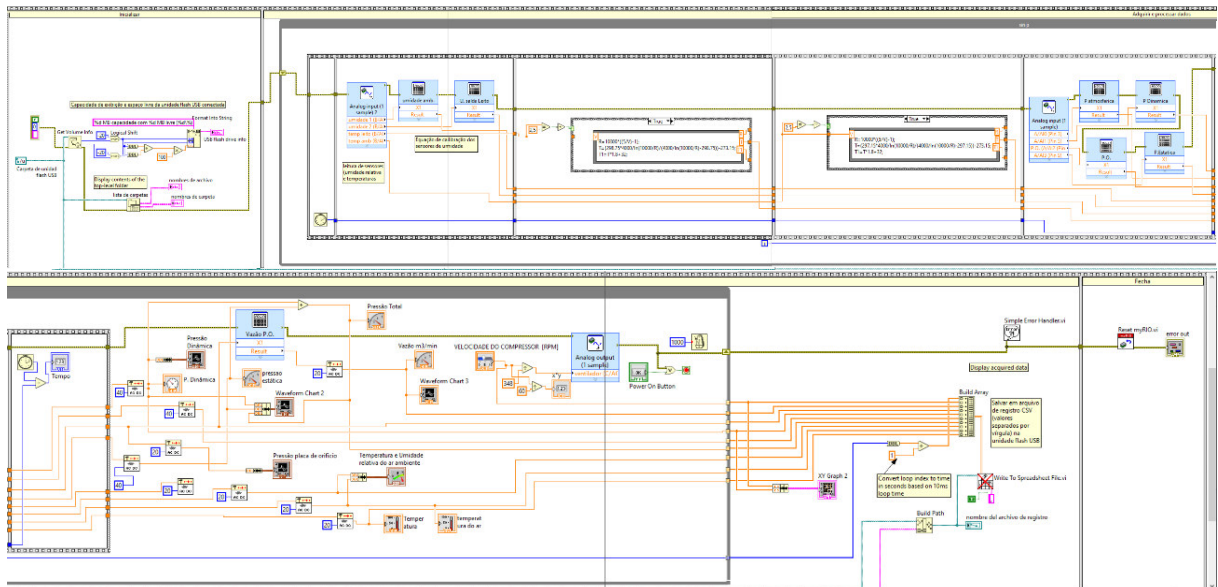
Autor: Autor próprio

Figura 53 – Painel frontal de aquisição de dados e controle do sistema

Isso é o que o usuário vê ao operar o sistema de leito fluidizado. O usuário também pode escolher um nome para seu arquivo para organização em seu pendriver. Existe uma barra

deslizante onde controla manualmente a velocidade de giro do compressor que insufla o ar para fluidizar. Depois de especificar a velocidade o usuário pressionará o botão pressionar para iniciar. Os medidores mostram quanto ar está passando através do leito (metros cúbicos por minuto), umidades relativas do ar (ambiente e na saída do leito), temperaturas (na entrada e saída do leito) e pressões na coluna do leito. Uma vez completado o experimento, tem que apertar o botão Desliga que termina o programa e apaga suas entradas. Enquanto o sistema está funcionando, os usuários podem ver os gráficos em tempo real do fluxo de ar, temperatura na entrada e saída do leito, umidade do ar e pressões do leito em três posições todas elas em relação ao tempo.

O diagrama de blocos é o código que controla tudo o sistema. O diagrama de blocos para secador em leito fluidizado é mostrado na figura 54.



Autor: Autor próprio

Figura 54 – Diagrama de blocos do sistema.

Na primeira parte do diagrama apresenta os blocos que inicializam a unidade flash USB conectada na placa myRIO para armazenagem de dados. O bloco a seguir adquire e processa dados de forma sequencial iniciando com a leitura das entradas analógicas da umidade relativa do ar ambiente, umidade relativa do ar na saída da coluna do leito, temperatura na entrada e temperatura na saída do leito, enviando estes sinais de leitura em tensão para o bloco que contém a equação de calibração dos mesmos quem transforma estes valores de tensão nas unidades correspondentes a cada uma destas gradeças físicas como apresentado na tabela 04.

Tabela 04- Equações de calibração das entradas analógicas na porta A da myRIO

Grandeza física	Equação de calibração
Umidade relativa do ar ambiente	$32.9 * \text{Tensão} - 25.5$
Umidade relativa na saída da coluna do leito	$32.9 * \text{Tensão} - 25.5$
Temperatura na entrada da coluna do leito	$R = 10000 * ((5/V) - 1);$ $T = (298.75 * 4000 / \ln(10000/R) / (4000 / \ln(10000/R) - 298.75)) - 273.15$
Temperatura na saída do leito	$R = 10000 * ((5/V) - 1);$ $T = (298.75 * 4000 / \ln(10000/R) / (4000 / \ln(10000/R) - 298.75)) - 273.15$

Na sequência são feitas as leituras das entradas analógicas em volts da queda de pressão a através da placa de orifício, pressão manométrica antes da placa distribuidora e pressão diferencia a 10 cm. e pressão diferencial a 20 cm. após a placa distribuidora. Da mesma forma que na anterior sequencia estes sinais são enviadas as equações de calibração como apresenta a tabela 05.

Tabela 05 - Equações de calibração das entradas analógicas na porta B da myRIO

Grandeza física	Equação de calibração
Pressão na placa de orifício	$\text{Pressão} = (\text{Tensão} - 2.79) * 1000$ $\text{Vazão} = 0.00144166 * 0.61$ $* \sqrt{(\text{Pressão}) * 60}$
Pressão na entrada do leito	$\text{Pressão} = (\text{Tensão} - 2.79) * 1000$
Pressão a 10 cm. da placa distribuidora	$\text{Pressão} = (\text{Tensão} - 2.79) * 1000$
Pressão a 20 cm. da placa de distribuidora	$\text{Pressão} = (\text{Tensão} - 2.79) * 1000$

Uma das saídas analógicas da porta C da placa myRIO é ativada com um sinal de saída na faixa entre 0 até 10 volts de corrente continua que controla a velocidade de giro do compressor através do inversor de frequência comandada manualmente desde a barra deslizante da interface gráfica na tela do computador utilizando a equação 13 a seguir

$$\text{Tensão de saída} = \text{Valor em rpm na barra deslizante} / 348 \quad (13)$$

Para finalizar o diagrama de blocos apresenta o modulo que fecha o programa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

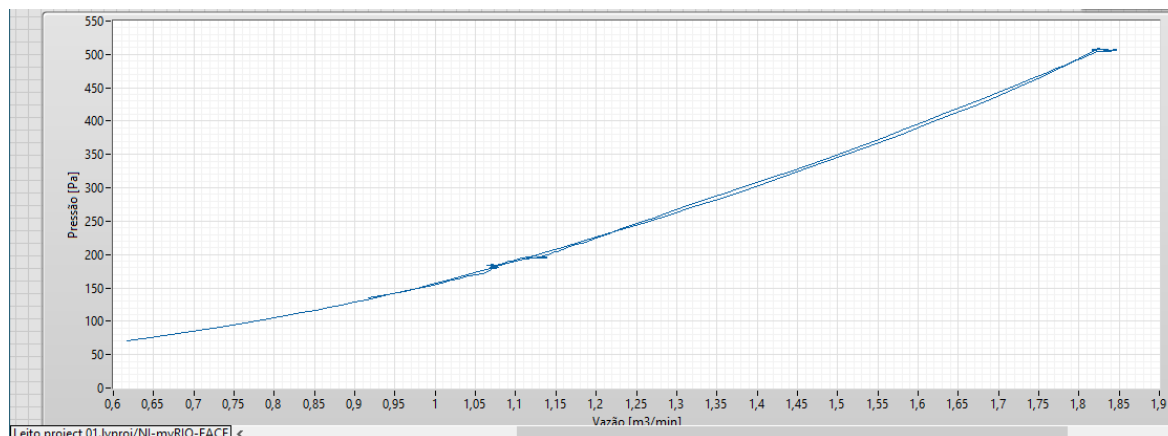
Depois da construção eletromecânica do sistema, a instalação e condicionamento do sinal de cada um dos sensores e do atuador (inversor de frequência), da ligação destes na placa myRIO e a implementação do programa no LabVIEW para a aquisição dos sinais de pressão (Pa), temperatura (°C) e umidade relativa (%) para que o usuário do secador em leito fluidizado possa armazenar os dados para uma análise adequada; além de resolver algumas das questões operacionais, o sistema foi comissionado por meio da execução de diferentes conjuntos de experimentos. A fim de demonstrar o funcionamento de todo o sistema e coleta de dados, alguns testes foram realizados e os resultados serão apresentados a seguir e comparados com a literatura para alcançarmos uma validade do experimento lembrando que não buscamos saber se o resultado é melhor ou pior de acordo com outros métodos e sim se as aplicações se aproximam dos padrões já vistos na literatura.

Em primeiro lugar, foram realizados experimentos de fluidização, com o objetivo de se ter uma ideia dos parâmetros reais do sistema.

5.1. Testando a placa distribuidora

A placa distribuidora fica no fundo da coluna, permite que os gases entrem na coluna e fluidizem o leito, além de fornecer suporte para o leito dentro da coluna. A placa distribuidora deve fazer é induzir uma fluidização uniforme e estável em todo o leito. Igualmente importante, deve operar sem nenhum aumento significativo na queda de pressão, que pode resultar do bloqueio causado por sólidos no leito. Em seguida, a placa distribuidora deve evitar zonas de sólidos estagnados acima do nível de entrada do gás de fluidização no leito. Isso impedirá a ocorrência de pontos quentes no leito, bem como a aglomeração de materiais do leito (kunii e Levenspiel). A queda de pressão na placa distribuidora, a geometria das passagens de gás, o passo e o espaçamento junto com a velocidade do fluxo de gás de entrada são todos parâmetros que ajudarão a garantir que a placa distribuidora atenda a todos os requisitos necessários para funcionar da maneira adequada.

A Figura 55 – apresenta o aumento da queda de pressão (em Pascal) com o aumento da vazão de ar (m^3/min) a través da placa distribuidora obtida em tempo real medindo a queda de pressão que tem a corrente de ar ao passar pela placa distribuidora quando o leito está vazio.



Autor: Autor próprio

Figura 55 - Pressão da placa distribuidora versus vazão do ar na entrada do leito

Esses resultados estão coerentes com os dados obtidos da literatura, conforme indicado por Geldart e Baeyens (1985), que comentam sobre a existência de distribuidores com alta e baixa queda de pressão, apresentando curvas que possuem um comportamento muito similar ao obtido na figura 55.

5.2. Experimentos de fluidização

Foram realizados experimentos de fluidização, para verificar o comportamento do leito fluidizado. A velocidade mínima de fluidização foi encontrada medindo-se a queda de pressão versus velocidade do gás de entrada tanto na temperatura ambiente, quanto nas condições de operação no processo de secagem.

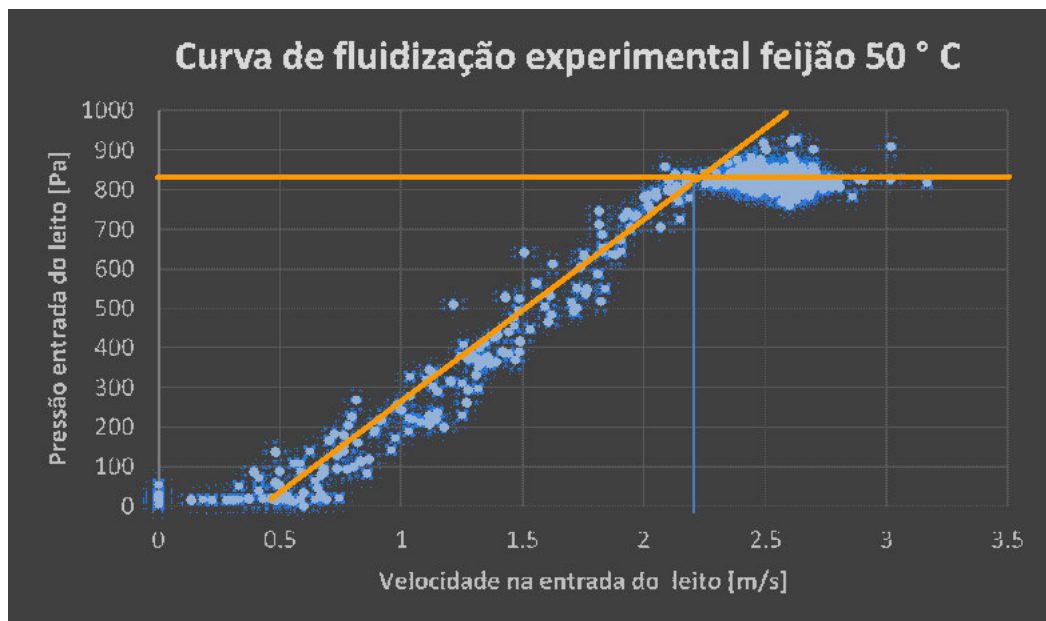
5.2.1 Curva de fluidização

Esta seção apresenta a curva de fluidização do feijão determinada experimentalmente; para um carregamento inicial do leito tipo cone de 10 cm de sólido.

A figura 55 mostra os valores da queda de pressão no leito em função da velocidade superficial do gás, obtida experimentalmente. Observa-se que a queda de pressão aumenta linearmente com o aumento da velocidade do gás durante o estágio de leito fixo. À medida que a velocidade continua aumentando, chega-se a um ponto em que a queda de pressão permanece praticamente constante, situação que coincide com o movimento das partículas no leito, dando origem ao regime fluidizado. Esta curva, obtida com o aumento do fluxo de ar. Pode-se observar um ponto máximo de queda de pressão, correspondendo ao valor em que o leito "desbloqueia" e começa a fluidificar e a porosidade do leito aumenta até atingir o valor mínimo de fluidização.

5.2.2 Velocidade mínima de fluidização

A velocidade mínima de fluidização pode ser determinada experimentalmente medindo a queda de pressão no leito. A figura 56 mostra as quedas de pressão através do leito contra a velocidade do fluido superficial para uma altura de 10 cm. de leito de grãos de feijão. Este gráfico é usado para obter a velocidade mínima de fluidização, bem como para mostrar que a queda de pressão sobe linearmente abaixo da fluidização mínima na região do leito compactado e, em seguida, platôs acima da fluidização mínima. A velocidade mínima de fluidização pode ser lido a partir da mudança brusca na queda de pressão na região do leito fixo.



Autor: Autor próprio

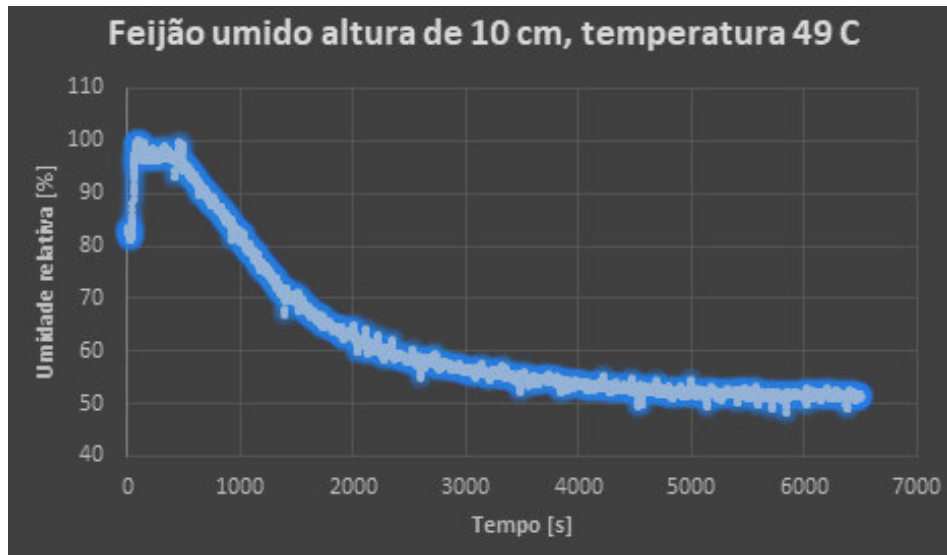
Figura 56 – Curva de fluidização experimental versus velocidade do ar na entrada do leito

Para determinar a velocidade mínima de fluidização, duas linhas de ajuste foram traçadas para os valores de queda de pressão das regiões de leito fixo e leito fluidizado. A velocidade superficial do gás que corresponde à intersecção de ambas as linhas, dá como resultado a velocidade de fluidização mínima. Nesse caso, esse valor era $V_{mf} = 2,12 \frac{m}{s}$

5.3. Experimentos de secagem

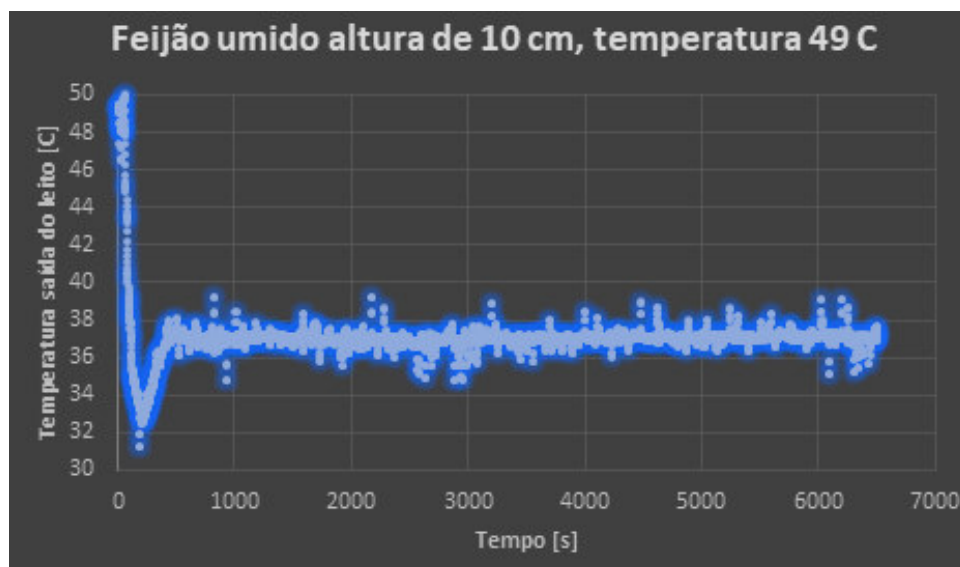
As curvas de secagem são geralmente empregadas para o teste de secagem, plotando os dados residuais em relação ao tempo. A curva de secagem mostrada na figura 57, é obtida plotando a umidade relativa do ar na saída do leito (não é curva residual) durante o processo de secagem de feijão em leito fluidizado com uma altura inicial 10 cm e temperatura constante do ar na entrada do leito a 49 °C, a temperatura do ar de saída de 37 ° C (vide figura 58) e com

uma temperatura ambiente mantida a 29 ° C. A umidade relativa do ar diminuiu com o tempo de forma exponencial. Tendência semelhante foi observada durante a secagem de outros materiais alimentares em diferentes temperaturas de secagem neste leito fluidizado.



Autor: Autor próprio

Figura 57 – Umidade relativa do ar na saída do leito em relação ao tempo para secagem de feijão a temperatura de 49 °C.



Autor: Autor próprio

Figura 58 – Temperatura do ar na saída do leito em relação ao tempo para secagem de feijão a temperatura de 49 °C.

CONCLUSÃO

A secagem de sementes é um assunto complexo e, na maioria dos casos, as instalações disponíveis são possíveis, mas não ideais. Além disso, em muitos casos, o sistema de secagem precisa operar fora de sua faixa normal para que a unidade de processamento de sementes como um todo possa maximizar seu desempenho. Portanto, é importante que os operadores entendam as condições de secagem que podem proporcionar às sementes para minimizar as perdas inevitáveis e irreversíveis que ocorrem quando as sementes atingem sua qualidade fisiológica máxima. Ao instalar este instrumento eletrônico com programa de registro de informações gráficas, espera-se que o tempo de investigação seja reduzido, aumentando assim o número de investigações na fábrica. A agilidade proporcionada pela automação da medição também ajudará os pesquisadores a terem mais autonomia para fazer mudanças na fábrica e entender com mais precisão o impacto dessas mudanças. Este trabalho também tende a minimizar erros obtidos em medições manuais anteriores, tornando o sistema mais confiável e, assim, auxiliando no desenvolvimento de trabalhos mais seguros.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, R.; PESKE, S.T. **Manual para el beneficio de semillas** 2.ed. Cáli, Colômbia : CIAT. 1992. 248p.

AHRENS, D.C.; PESKE, S.T. **Flutuações de umidade e qualidade de sementes de soja após a maturação fisiológica**. I. Avaliação do teor de água. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v.161, n.2, p.107-110,1994.

BAUDET, L.M.L.; VILLELA, F.A.; CAVARIANI, C.**Princípios de secagem**. Seed News, Pelotas-RS, n.10, p.20-27,1999.

BI, H. T.; ELLIS, N.; ABBAS, I. A; GRACE, J. R. **A state-of-the-art review of gas-solid turbulent fluidization**. Chemical Engineering Science, v.55, pp.4789-4825, 2000.

CARVALHO, N.M. **A secagem de sementes** J aboticabal : FUNEP, 1994. 165p.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar** 1996. 85f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Esalq-USP.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar** 1996. 85f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Esalq-USP.

GELDART, D. **Types of Gas Fluidization**. Powder Technology, v.7, pp.285-292, 1973.

GUPTA, C. K.; SATHIYAMOORTHY, D. **Fluid Bed Technology in Materials Processing**. CRC Press, United States, 498p., 1999.

KUNII, D.; LEVENSPIEL, O. **Fluidization Engineering**. Butterworth-Heinemann, 2nd ed., 491p., USA, 1991.

MAIA, M. **Secagem de sementes de azevém anual (Lolium multiflorum Lam.) com ar ambiente forçado** 1995. 108f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - UFPel.

MIRANDA, L.C.; DA SILVA, W.R.; CAVARIANI, C. **Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar**. I. Monitoramento físico. Pesq agropec bras, Brasília, v.34, n.11, p.2097-2108, 1999.

MORAES, M.L.B de. **Comportamento da pressão estática e da frente de secagem em uma coluna de sementes de arroz 2000**. 50f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) -UFPEL.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, 1985. 289p.

VILLELA, F.A ; PESKE, S.T. **Tecnologia pós-colheita para arroz**. In: PESKE, S.T.; NEDEL, J.L.; BARROS, A.C.S.A. **Produção de arroz irrigado Pelotas** : UFPel, 1997. p. 351-412.

VILLELA, F.A ; SILVA, W.R. **Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente**. Scientia Agricola, Piracicaba, v.49, n.1, p.145-153,1992.

VILLELA, F.A. **Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho** 1991. 104f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Esalq-USP.

WINDERSON E. DOS SANTOS, PROF. DR. AMPLIADO POR: PHELLYPE M. Baltazar
Introdução a Programação com LabVIEW™ Curitiba Julho-2009