



CEFET-MG

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CÂMPUS DIVINÓPOLIS
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

**CONTROLE DE TEMPERATURA DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DA AMÔNIA
LIBERADA PELO PROCESSO *AIR STRIPPING* APLICADO AO TRATAMENTO DO
LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS**

MATEUS DOS SANTOS AMARAL
JOHN ADAM EGIDIO DE SOUSA

Divinópolis
Fevereiro 2014

MATEUS DOS SANTOS AMARAL
JOHN ADAM EGIDIO DE SOUSA

**CONTROLE DE TEMPERATURA DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DA
AMÔNIA LIBERADA PELO PROCESSO *AIR STRIPPING* APLICADO AO
TRATAMENTO DO LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS**

Monografia apresentada à banca examinadora do curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Fockink da Silva

Coorientador: Profa. Dra. Miriam Cristina dos Santos Amaral

Coorientador: Prof. Esp. Daniel Dany da Silva

Divinópolis
Fevereiro 2014



Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CEFET-MG / Câmpus Divinópolis
Curso de Engenharia Mecatrônica

Monografia intitulada “*CONTROLE DE TEMPERATURA DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DA AMÔNIA LIBERADA PELO PROCESSO AIR STRIPPING APLICADO AO TRATAMENTO DO LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS*”, de autoria dos graduandos Mateus dos Santos Amaral e John Adam Egidio de Sousa, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Evandro Fockink da Silva - CEFET-MG / Câmpus Divinópolis - Orientador

Prof. Dr. Wagner Custódio de Oliveira - CEFET-MG / Câmpus Divinópolis

Profa. M.Sc. Sandra Vaz Soares Martins - CEFET-MG / Câmpus Divinópolis

Prof. Dr. Valter Junior de Souza Leite
Coordenador do Curso de Engenharia Mecatrônica
CEFET-MG / Câmpus Divinópolis

Divinópolis - Fevereiro de 2014

AMARAL, M. S., SOUSA, J. A. E. **Controle de temperatura do processo de recuperação da amônia liberada pelo processo *air stripping* aplicado ao tratamento do lixiviado de aterros sanitários**. 2014. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia Mecatrônica. Centro Federal de Educação Tecnológica - Câmpus Divinópolis, 2014.

RESUMO

O lixiviado gerado nos aterros sanitários é considerado um efluente líquido com elevado potencial poluidor, principalmente pela concentração elevada de amônia em sua composição. A amônia pode ser extraída do lixiviado por meio do processo físico-químico como *air stripping*. Este procedimento consiste em forçar o contato do lixiviado com uma corrente de ar que carreará a amônia gasosa. Para isto, a amônia presente na forma iônica deve ser convertida em amônia gasosa. O sistema de aquecimento desenvolvido neste trabalho fundou-se na elaboração do projeto piloto do reservatório do aquecedor, acoplado com a serpentina para aquecimento do lixiviado. Neste processo, foram realizados cálculos das dimensões, escolha dos materiais utilizados, cálculos do trocador de calor, cálculos do aquecedor solar necessário, cálculos da caldeira a gás e estudos do microcontrolador e sensor de temperatura. Diante dos estudos realizados, foram efetuados os orçamentos dos materiais e aquisição do reservatório de água quente (*boiler*), coletor solar, reservatório de aquecimento, microcontrolador, sensor de temperatura, bombas de circulação de água aquecida, montagem da planta piloto e seu controle. O sistema de aquecimento foi montado e realizaram-se testes para validação e avaliação do projeto. Os resultados mostraram que a variação de temperatura no interior do reservatório estava de acordo com os cálculos realizados.

Palavras-chaves: lixiviado, *air stripping*, temperatura.

ABSTRACT

The leachate generated in the landfill is considered a liquid effluent with high pollution potential, especially for the high concentration of ammonia in its composition. Ammonia can be extracted from the leachate by physical - chemical processes such as air stripping. This procedure consists in forcing the leachate contact with a stream of air that carries gaseous ammonia. For this, the ammonia present in ionic form must be converted to gaseous ammonia. The heating system developed in this research project was based on the development of a pilot project, which used a tank heater coupled with the coil for heating the leachate. In this case, it was necessary to make calculations of dimensions, choice the right materials, make calculations of the heat exchanger, define and make calculation of the solar heater that would be used in the study, calculations of gas boilers and studies regarding microcontrollers and temperature sensors were performed. Before the studies, the materials needed, the reservoir of hot water (boiler), the solar collector, the tank heating, the microcontroller, the temperature sensor, and the circulation pumps heated water, the labor of mounting the pilot plant and its control were quoted and buy. The heating system was assembled and tests were performed for validation and evaluation of the project. The results showed that the temperature variation inside the container was in agreement with the calculations.

Keywords: leachate; air stripping; temperature.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIações	x
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Motivação	12
1.2 Objetivo	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
3 CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA	16
3.1 Reservatório de aquecimento	16
3.1.1 Isolamento do reservatório	17
3.2 Capacidade calorífica absorvida pelo lixiviado	17
3.3 Carga térmica total	18
4 DESENVOLVIMENTO DO AQUECEDOR	20
4.1 Cálculo da serpentina do reservatório de aquecimento	20
4.1.2 Cálculo da vazão volumétrica de água do aquecedor (v)	20
4.1.3 Definição do tipo de escoamento interno tubulação	21
4.1.4 Definição do comprimento da serpentina	22
4.2 Cálculo da área do coletor	24
4.3 Definição do volume de água do reservatório do aquecedor	25
4.4 Aproximação para a planta real com aquecedor solar	26
5 CÁLCULOS PARA AQUECIMENTO COM CALDEIRA	27
5.1 Consumo de gás para planta bancada	29
6 AUTOMAÇÃO E CONTROLE	30
6.1 Microcontrolador	30
6.2 Sensor de temperatura	31

6.2.1	Sensor de temperatura LM35	31
6.2.2	Filtro para o sensor de temperatura LM35	32
6.2.3	Acoplamento dos sensores de temperatura LM35	34
6.3	Bomba de circulação de água aquecida	34
6.3.1	<i>Driver</i> de acionamento da bomba de circulação de água aquecida .	35
6.3.2	Ajuste da vazão	37
6.4	Fonte DC	38
6.5	Interface computacional	39
6.5.1	LabVIEW	39
6.5.2	Implementação do sistema	39
6.5.2.1	Aquisição de dados dos sensores de temperatura	40
6.5.2.2	Controle da vazão da bomba	40
6.5.2.3	Temperatura do lixiviado no reservatório	41
6.5.2.4	Aquisição de dados da planta	42
6.5.3	<i>Layout</i> do diagrama de bloco	42
6.5.4	Interface com usuário	43
7	PLANTA PILOTO	46
7.1	Aquecedor solar	46
7.2	Painel de controle	47
7.3	Montagem da planta piloto	48
8	COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	49
9	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	51
9.1	Planta piloto	51
9.2	Planta real	51
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
11	REFERÊNCIAS	54
12	ANEXOS	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Dimensões do reservatório de aquecimento	16
Tabela 3.2. Propriedades do lixiviado	18
Tabela 4.1. Parâmetros do processo	20
Tabela 4.2. Irradiação solar por cidades	25
Tabela 5.1. Propriedades de substâncias a pressão de 0,1 mPa e temperatura 298 K	28
Tabela 6.1. Descrição da bomba	34
Tabela 6.2. Especificações da fonte	38
Tabela 9.1. Gastos para a montagem da planta piloto	51
Tabela 9.2. Gastos com energia para planta real	51
Tabela 9.3. Gastos com gás para planta real	52
Tabela 9.4. Gastos para a montagem do aquecedor da planta real	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. (a) Vista frontal serpentina. (b) Vista superior reservatório com serpentina	22
Figura 4.2. Vista frontal do reservatório	23
Figura 4.3. (a) Vista frontal da serpentina. (b) Vista frontal da tampa	23
Figura 4.4. Reservatório do aquecedor. (a) Vista superior da tampa. (b) Vista lateral da tampa. (c) Vista lateral esquerda do reservatório. (d) Vista superior	24
Figura 6.1. Arduino Uno R3	30
Figura 6.2. Sensor de temperatura LM35	32
Figura 6.3. Circuito elétrico do filtro	33
Figura 6.4. Visualização 3D do filtro	33
Figura 6.5. Acoplamentos dos sensores	34
Figura 6.6. Bomba de circulação de água aquecida	35
Figura 6.7. Sinal do PWM	36
Figura 6.8. Circuito elétrico do <i>driver</i>	37
Figura 6.9. Visualização 3D do <i>driver</i>	37
Figura 6.10. Rotâmetro	38
Figura 6.11. Fonte DC	38
Figura 6.12. Aquisição de sinais de entrada	40
Figura 6.13. Controle de vazão	41
Figura 6.14. Temperatura do lixiviado	41
Figura 6.15. Aquisição de dados	42
Figura 6.16. Diagramas de blocos	43
Figura 6.17. Aba Pinos	44
Figura 6.18. Aba Indicadores	44
Figura 6.19. Aba Controles	45
Figura 6.20. Aba Gráficos	45
Figura 7.1. Boiler	46
Figura 7.2. Coletor solar	47
Figura 7.3. Painel de controle	47
Figura 7.4. Planta piloto	48

Figura 8.1. Gráfico com temperatura de 41 °C	50
Figura 8.2. Gráfico com temperatura de 56 °C	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

A	Área superficial total	m ²
C _p	Calor específico	J/kg.K
D	Diâmetro	mm
h	Coeficiente de transferência de calor por convecção	W/(m ² K)
I	Irradiação solar	kW/m ²
k	Condutividade térmica	W/m.K
L	Espessura	mm
m	Massa	kg
\dot{m}	Vazão mássica	kg/s
N	Eficiência do coletor	%
Nu	Número de Nusselt	
p	Pressão	mPa
pH	Potencial hidrogeniônico	
Pr	Número de Prandtl	
Q	Calor	W
Re	Número de Reynolds	
S	Área do coletor	m ²
T	Temperatura	°C, K
V	Volume	m ³
VCC	Tensão contínua	V
\dot{v}	Vazão volumétrica	L/s
ΔT	Variação da temperatura	°C, K
μ	Viscosidade	N.s/m ²

1 INTRODUÇÃO

O lixiviado é caracterizado como um poluente líquido proveniente de aterros sanitários possuindo em sua composição matéria orgânica, cloreto e amônia em altas concentrações. A alta complexidade do processo de tratamento do lixiviado exige que ele seja feito em várias etapas, utilizando tecnologias avançadas. Uma das etapas do processo de tratamento do lixiviado é a extração de amônia através do método *air stripping* (Bastos, 2011). Esta etapa faz com que o lixiviado entre em contato com uma corrente de ar, que carreará a amônia na forma gasosa. Para isto, a amônia presente na forma iônica deve ser convertida em amônia gasosa, fazendo-se necessário o ajuste de alguns parâmetros como pH e temperatura do lixiviado (Moura, 2008).

A literatura disponibiliza vários trabalhos relacionados ao ajuste destes parâmetros. Em alguns casos, aumenta-se o pH e mantém-se a temperatura inalterada e, em outros casos, mantém-se o pH inalterado e eleva-se a temperatura. A variação do pH envolve a utilização de produtos químicos, tornando este processo com elevado custo e alta periculosidade no armazenamento de químicos. Ao aumentar a temperatura, o processo torna-se mais seguro pela ausência de produtos químicos. No entanto, dependendo do processo adotado para o aumento da temperatura pode ser inviável economicamente.

O aquecimento do lixiviado para extração da amônia torna-se viável ao utilizar fontes alternativas de energia, tais como sistema de aquecimento empregando energia solar ou gás metano. A energia solar é considerada uma fonte de energia renovável por não utilizar nenhum tipo de combustível para ser produzida, sendo simplesmente disponibilizada pela natureza (Venzon, 2004). Esta energia é produzida pelo sol, o qual é basicamente constituído de hidrogênio e hélio, sendo que esta produção deve-se ao processo de fusão nuclear e viaja no espaço a uma velocidade de aproximadamente a $3,0 \times 10^5 \text{ km.s}^{-1}$. De toda a energia produzida, apenas uma pequena parte chega à terra, sendo que 15% é refletida de volta para o espaço e 30% é perdida na evaporação da água que sobe para atmosfera produzindo a chuva. O equilíbrio energético é mantido pelo restante de energia produzida pelo sol, sob a forma de radiação térmica (Venzon, 2004).

Com intuito de utilizar fontes renováveis e economicamente viáveis, foi proposto um aquecedor solar para o processo de aquecimento do lixiviado para extração da amônia. É importante ressaltar, que os autores consideraram a possibilidade de trabalhar com outras fontes de calor, também ecologicamente corretas. A título de exemplo, para uma dessas fontes pode ser considerado o uso de uma caldeira que seria alimentado com gás liberado pelo próprio aterro sanitário, mais especificamente, o gás metano.

Para o controle da temperatura no processo foi necessária a implementação de um sistema de controle, que atuou junto com as bombas, sensores e outros componentes que atuaram no sistema de forma a automatizar o processo.

Coletou-se dados deste sistema de controle, os quais foram transmitidos para um servidor, que foi desenvolvido em uma plataforma do LabVIEW que recebeu e tratou estes dados, tornando possível o controle total do processo a partir de uma interface computacional.

Inicialmente, a configuração do processo utilizaria uma hora para aquecer o reservatório. Neste período, a coluna de *air stripping* ficaria parada aguardando o aquecimento do reservatório. Após o aquecimento a coluna entraria em funcionamento em um período de cinco horas, sendo que durante este período seria necessário manter a temperatura constante do lixiviado. Na tentativa de contornar este problema, foi proposta para uma planta real, a utilização de dois reservatórios de aquecimento, de tal forma que, enquanto um reservatório alimenta a coluna no período de cinco horas, o outro permanece aquecendo. Assim, o reservatório que está no processo de aquecimento tem maior tempo para atingir a temperatura ideal e, desta forma, permite utilizar uma potência menor para o aquecimento. O funcionamento neste modo, elimina o tempo que a coluna de *air stripping* permanece ociosa, maximizando a eficiência do sistema.

1.1 Motivação

A motivação para o desenvolvimento deste projeto foi o fato deste tema ter sido trabalhado em um projeto de iniciação científica e por conhecer aplicabilidade dos conhecimentos obtidos nas disciplinas, que englobam as áreas de maiores interesses como mecânica, elétrica e computação.

O desenvolvimento deste projeto foi aplicado em apenas uma das etapas do processo do tratamento do lixiviado, mas possui grande importância por se trabalhar em algo que minimiza impactos ambientais, onde a tendência é a obrigatoriedade do tratamento dos aterros sanitários.

1.2 Objetivo

Este trabalho foi idealizado tendo como objetivo central o projeto de um aquecedor, que utiliza fontes de energia alternativa, para atuar em uma das etapas do processo de tratamento do lixiviado para obtenção da amônia.

Para a implementação e automatização do processo, foi montada uma planta deste aquecedor em Divinópolis onde, após o término do desenvolvimento, a mesma será encaminhada à UFMG para acoplar ao restante do processo de extração da amônia.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Atualmente, o crescimento industrial e populacional exige grandes preocupações ambientais pelo fato da elevada quantidade de resíduos sólidos gerados. A sociedade tem produzido quantidades significativas de resíduos sólidos sem uma contrapartida política para a sua eliminação. A estocagem destes resíduos em aterros sanitários e “lixões” tem gerado receio por parte da sociedade atenta a qualidade do meio ambiente (Moura, 2008).

Nos aterros sanitários ocorre a dissolução de componentes dos resíduos sólidos na água, no qual se origina o lixiviado. Essa água permanece em contato com o lixo por certo período e, sendo assim, por ação da gravidade, percorre através da porosidade existente até encontrar uma camada impermeável do solo, formada por rochas, ou mesmo superfícies impermeabilizadas previamente preparadas para receber o lixo, onde acumula e escoar. Nos aterros sanitários, normalmente lixiviado é canalizado para um tanque a céu aberto, em que é realizado um pré-tratamento e, em alguns casos, é despejado em bacias hidrográficas. A poluição das águas pelo lixiviado pode provocar endemias ou intoxicações, se houver a presença de organismos patogênicos e substâncias tóxicas em níveis acima do permitido (Sisino, 2000; Moura, 2008).

O lixiviado é gerado nos aterros sanitários, e principalmente pelo fato da elevada concentração de amônia em sua composição torna-se um efluente líquido poluente. A extração da amônia do lixiviado pode ser realizada por meio do processo físico-químico *air stripping*. Esta etapa faz com que o lixiviado entre em contato com uma corrente de ar, que carreará a amônia na forma gasosa. Para isto a amônia presente na forma iônica deve ser convertida em amônia gasosa. Para que ocorra essa conversão é necessário ajustar alguns parâmetros tais como pH e temperatura.

A literatura disponibiliza vários trabalhos relacionados ao ajuste destes parâmetros. Em alguns casos, aumenta-se o pH e mantém-se a temperatura inalterada e, em outros casos, mantém-se o pH inalterado e eleva-se a temperatura.

Eden (2001) evidencia que nos processos de extração da amônia, à medida que a temperatura da solução se eleva a quantidade de gás de amônia livre também aumenta, em decorrência da diminuição da solubilidade da amônia na solução.

Segundo Collivignarelli *et al.* (1998), o pH ótimo para o processo de arraste é aproximadamente de 10,0 a 10,5. De fato, baixos valores levam a baixas eficiências, enquanto que altos valores levam a altas eficiências, mas com o inconveniente de um aumento significativo no consumo de alcalinizante.

Em alguns experimentos de Collivignarelli *et al.* (1998), em temperatura ambiente, quando se aumentou o pH de 8,5 para 10,5, a eficiência do processo aumentou de 14% para 46%. O aumento do pH para 12 permitiu atingir uma eficiência de 50%. No entanto, quando a temperatura variou de 20 °C para 40 °C, foi observado que a eficiência de remoção triplicou, aumentando de 26% para 80%, com os mesmos valores de pH (12) e vazão específica de ar (120 L/s). Como foram mantidas temperaturas elevadas, a eficiência de remoção atingida em outros experimentos foi geralmente maior, mesmo com baixas vazões de ar. Em um dos experimentos em que a temperatura foi mantida em 70 °C, a eficiência de remoção foi de 90%, sem adição de alcalinizante.

A variação do pH envolve a utilização de produtos químicos, o qual torna este processo com elevado custo e com alta periculosidade no armazenamento. Ao aumentar a temperatura, o processo torna-se mais seguro pela ausência de produtos químicos. No entanto, dependendo do processo adotado para o aumento da temperatura pode ser inviável economicamente.

Para a elevação da temperatura foi proposto o desenvolvimento de aquecedor de fonte de energia renovável. Segundo Carvalho [s.d.], as fontes de energia podem ser classificadas em dois tipos as fontes primárias e as secundárias. Fontes primárias são aquelas originadas de processos fundamentais da natureza, como a energia dos núcleos dos átomos ou a energia gravitacional. As fontes secundárias consistem naquelas derivadas da primeira, representando apenas transformações e/ou diferentes formas daquelas, tais como a energia da biomassa (solar) e a das marés (gravitacional).

Considerando dados solarimétricos do Brasil, há regiões que proporcionam 65% de economia e outras, mais quentes, que podem atingir até 80% da economia anual no aquecimento de água (Cemig, 2013). Com o intuito de utilizar esta energia foi desenvolvido um aquecedor solar, o qual irá aquecer a água que, por meio de um reservatório de aquecimento, irá transferir o calor para o lixiviado.

3. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA

Carga térmica é definida como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura (Moran *et al.*, 2005).

3.1 Reservatório de aquecimento

O aço inoxidável foi o material escolhido para a fabricação do reservatório de aquecimento pelo fato de suportar elevadas temperaturas, ser estanque e resistente à corrosão, uma vez que o lixiviado contém várias substâncias corrosivas, dentre elas a amônia (Callister Jr., 2008; Ashby e Kara, 2011).

As dimensões do reservatório de aquecimento encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Dimensões do reservatório de aquecimento

Parâmetros	Valores
Espessura (mm)	1,0
Altura do reservatório (mm)	200
Diâmetro (mm)	200

Tendo o reservatório dimensionado foi calculada a capacidade calorífica necessária para elevar a temperatura do reservatório de 25 °C até 60 °C. Considerando o calor específico do inox igual a 460 J/kg.K, a área da superfície total equivalente a 0,19 m², a densidade, volume e massa de aço inoxidável iguais a 7.860 kg/m³, 1,80 x 10⁻⁴ m³ e 1,48 kg respectivamente, a capacidade calorífica foi calculada pela equação 3.1:

$$Q_c = mc\Delta T = 1,48 \times 460 \times (60 - 25) = 23,85 \text{ kJ} \quad (3.1)$$

A quantidade de calor absorvida para elevar a temperatura é 23,85 kJ. É importante ressaltar que esta carga independe do volume de lixiviado contido dentro do reservatório, uma vez que é utilizada apenas para aquecer o reservatório de aquecimento.

3.1.1 Isolamento do reservatório

Para reduzir as perdas de calor para o meio ambiente é necessário isolar o reservatório. Para a planta piloto foi escolhido como isolante o poliuretano.

Considerando a ausência do isolamento tem-se a condutividade térmica do aço inoxidável igual a 13,4 W/m.K, a variação da temperatura 35 °C, a espessura igual a $1,0 \times 10^{-3}$ m e a área superficial total 0,19 m², calcula-se:

$$Q = kA \frac{\Delta T}{L} = 13,4 \times (0,19) \times \frac{35}{1,0 \times 10^{-3}} = 88,4 \text{ kW} \quad (3.2)$$

Portanto, o calor transferido para o ambiente sem o devido isolamento é 88,4 kW, porém com o uso do isolamento obtém-se:

$$Q = kA \frac{\Delta T}{L} = 0,02 \times (0,19) \times \frac{35}{0,05} = 2,64 \text{ W} \quad (3.3)$$

E k representa a condutividade térmica do poliuretano, 0,02 W/m.K, A corresponde à área superficial total 0,19 m², ΔT a variação da temperatura 35 °C e L a espessura 0,05 m.

O calor transferido neste caso foi aproximadamente 34 vezes menor quando comparado sem o uso de isolamento térmico. Devido à alta condutividade e a pequena espessura do aço inoxidável, tem-se uma elevada perda de calor quando o isolamento não é usado.

3.2 Capacidade calorífica absorvida pelo lixiviado

A capacidade calorífica foi calculada considerando-se que três litros de lixiviado entram para o reservatório a temperatura de 25 °C e devem sair para a coluna de *air stripping* a 60 °C. Empregando-se os parâmetros determinados na Tabela 3.2 obtém-se:

Tabela 3.2. Propriedades do lixiviado

Parâmetros	Valores
Varição da temperatura (°C)	35
Calor específico (J/kg.K)	4.186
Densidade (kg/m ³)	1.000
Volume (m ³)	3,0 x 10 ⁻³
Massa (kg)	3,0

$$Q = mC_p\Delta T = 3 \times 4186 \times 35 = 439,53 \text{ kJ} \quad (3.4)$$

A quantidade de calor absorvida para a variação da temperatura é 439,53 kJ. Porém, este valor sofrerá alteração devido ao calor específico da água.

3.3 Carga térmica total

A carga térmica total considera que o lixiviado permaneça no reservatório de aquecimento durante um período de cinco horas. Para este período a quantidade de calor absorvida pelo lixiviado e pelo reservatório de aquecimento foi dividida por um período de cinco horas (18.000 segundos). Em seguida foi acrescentada a perda no isolamento pelo período do processo.

$$Q = \frac{23,85 + 439,53}{18000} = 25,74 \text{ W} \quad (3.5)$$

$$Q_{\text{isolante}} = 2,64 \times 5 = 13,19 \text{ W} \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{Total}} = 25,74 + 13,19 = 38,93 \text{ W} \quad (3.7)$$

Considerando-se um coeficiente de segurança de 25% tem-se a carga total do processo:

$$Q_{\text{Total}} = 38,93 \times 1,25 = 48,66 \text{ W} \quad (3.8)$$

Caso haja redução do período de tempo para uma hora, tem-se:

$$Q = \frac{23,85 + 439,53}{3600} = 128,71 \text{ W} \quad (3.9)$$

Adicionando a perda no isolante:

$$Q_{\text{Total}} = 128,71 + 2,64 = 131,35 \text{ W} \quad (3.10)$$

E considerando o coeficiente de segurança de 25% tem-se a carga total do processo:

$$Q_{\text{Total}} = 131,35 \times 1,25 = 163,19 \text{ W} \quad (3.11)$$

4. DESENVOLVIMENTO DO AQUECEDOR

Para construção do aquecedor foram realizados cálculos conforme metodologia adaptada de Moran *et al.*, 2005.

4.1 Cálculo da serpentina do reservatório de aquecimento

O reservatório de aquecimento é de aço inoxidável, cujas dimensões são mostradas na Tabela 4.1.

Para calcular o comprimento da tubulação da serpentina do reservatório de aquecimento do lixiviado foram considerados os dados apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Parâmetros do processo

Parâmetros	Valores
Diâmetro tubulação (D)	9,52 mm
Temperatura de entrada água ($T_{e(a)}$)	70 °C
Temperatura de saída água ($T_{s(a)}$)	60 °C
Temperatura entrada lixiviado ($T_{e(lix)}$)	35 °C
Temperatura saída lixiviado ($T_{s(lix)}$)	65 °C

Para obter as propriedades termofísicas da água do aquecedor foi considerado que a temperatura média é 65 °C (340 K). Portanto, tem-se o calor específico (C_p) = 4,18 kJ/kg.K, viscosidade (μ) = 420×10^{-6} N.s/m², condutividade (k) = 0,66 W/m.K e número de Prandtl (Pr) = 2,66.

4.1.2 Cálculo da vazão volumétrica de água do aquecedor (\dot{v})

Para obter o comprimento deve-se calcular a vazão volumétrica através do balanço de energia necessária para aquecer o lixiviado com a energia gasta para aquecer a água. Tem-se a vazão conforme calculado abaixo.

$$Q(\text{lixiviado}) = Q(\text{água}) = 163,19 \text{ W} \quad (4.1)$$

$$\dot{m} = \frac{Q(\text{lixiviado})}{C_p \Delta T} = \frac{163,19}{4181 (70 - 60)} = 3,9 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (4.2)$$

Tendo que a vazão mássica é $3,9 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$, então a vazão volumétrica será de aproximadamente $3,9 \times 10^{-3} \text{ L/s}$.

4.1.3 Definição do tipo de escoamento interno tubulação

A definição do tipo escoamento interno da tubulação é necessária para calcular o coeficiente de transferência de calor por convecção (h) para posteriormente obter o comprimento da tubulação. Através do número de Reynolds é possível identificar este escoamento.

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} = \frac{4 \times 3,9 \times 10^{-3}}{\pi \times (9,52 \times 10^{-3}) \times (420 \times 10^{-6})} = 1241,9 \quad (4.3)$$

Como o número de Reynolds obtido é menor que 2.300, pode ser considerado escoamento laminar. Para tubulações com escoamento laminar, o número de Nusselt é:

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = 4,36 \quad (4.4)$$

Através do número de Nusselt e como já tem-se o diâmetro (D) e a condutividade (k) obtém-se o coeficiente de transferência de calor por convecção (h):

$$h = \frac{4,36 \times 0,66}{9,52 \times 10^{-3}} = 302,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (4.5)$$

Pelo fato deste aquecedor se tratar de um trocador do tipo casca e tubo deve-se calcular a média logarítmica da diferença da temperatura conforme apresentado a seguir.

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{e(a)} T_{s(lix)}) - (T_{s(a)} T_{e(lix)})}{\ln[(T_{e(a)} T_{s(lix)}) / (T_{s(a)} T_{e(lix)})]} = \frac{(70 - 65) - (60 - 35)}{\ln[(70 - 65) / (60 - 35)]} = 12,42 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.6)$$

4.1.4 Definição do comprimento da serpentina

A primeira etapa deste projeto consistiu na definição da carga térmica necessária para aquecer o lixiviado, na qual encontrou-se $Q = 163,19$ W.

Com isso, pode-se obter o comprimento através da equação para trocadores com escoamento em contra corrente:

$$L = \frac{Q}{h(\pi D)\Delta T \ln} = \frac{163,19}{302,26(\pi \times 9,52 \times 10^{-3}) \times 12,42} = 1,45 \text{ m} \quad (4.7)$$

Escolheu-se $d = 0,15$ m para o diâmetro da serpentina. Estabelecido o comprimento da tubulação, foi calculado o número de voltas que o tubo dará para formar a serpentina. A Figura 4.1 ilustra a serpentina a ser colocada no interior do reservatório.

$$N \text{ voltas} = \frac{1,45}{\pi d} = \frac{1,45}{0,47} = 3,69 \approx 4 \text{ voltas} \quad (4.8)$$

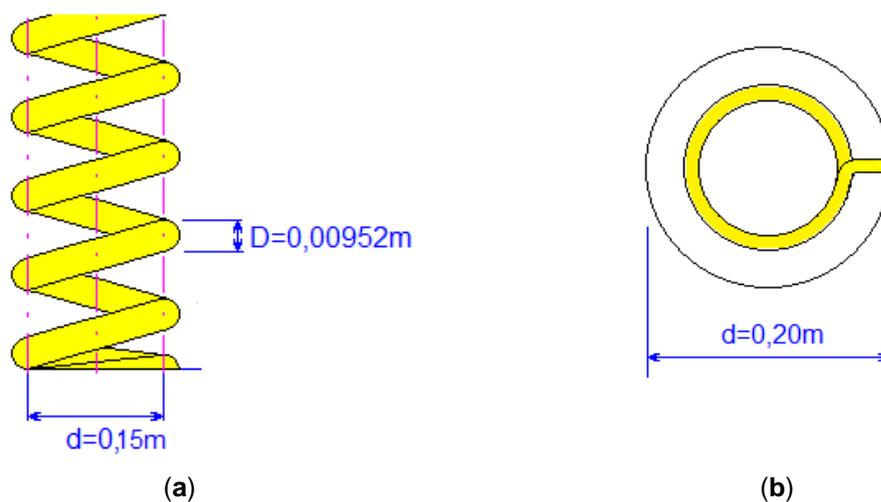


Figura 4.1. (a) Vista frontal serpentina. (b) Vista superior reservatório com serpentina.

As Figuras 4.2 e 4.3 ilustram o projeto do reservatório do sistema de aquecimento e a Figura 4.4 apresenta o reservatório fabricado.

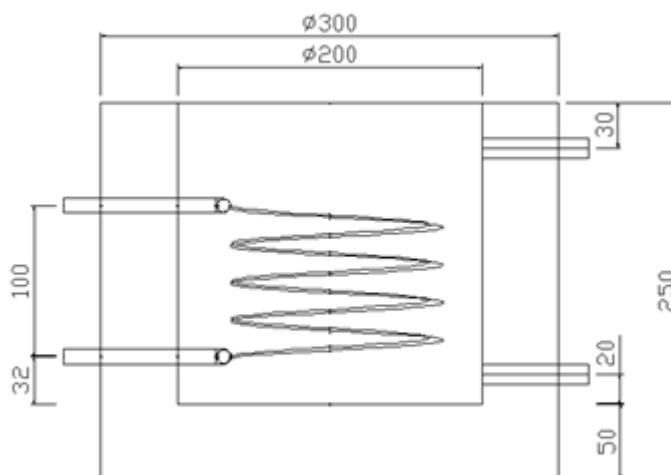
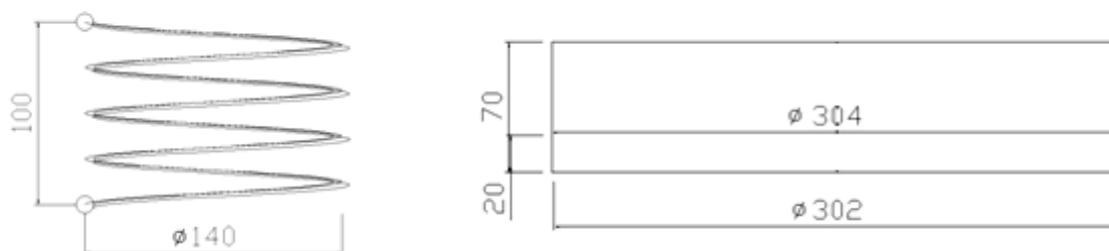


Figura 4.2. Vista frontal do reservatório



(a)

(b)

Figura 4.3. (a) Vista frontal da serpentina. (b) Vista frontal da tampa.

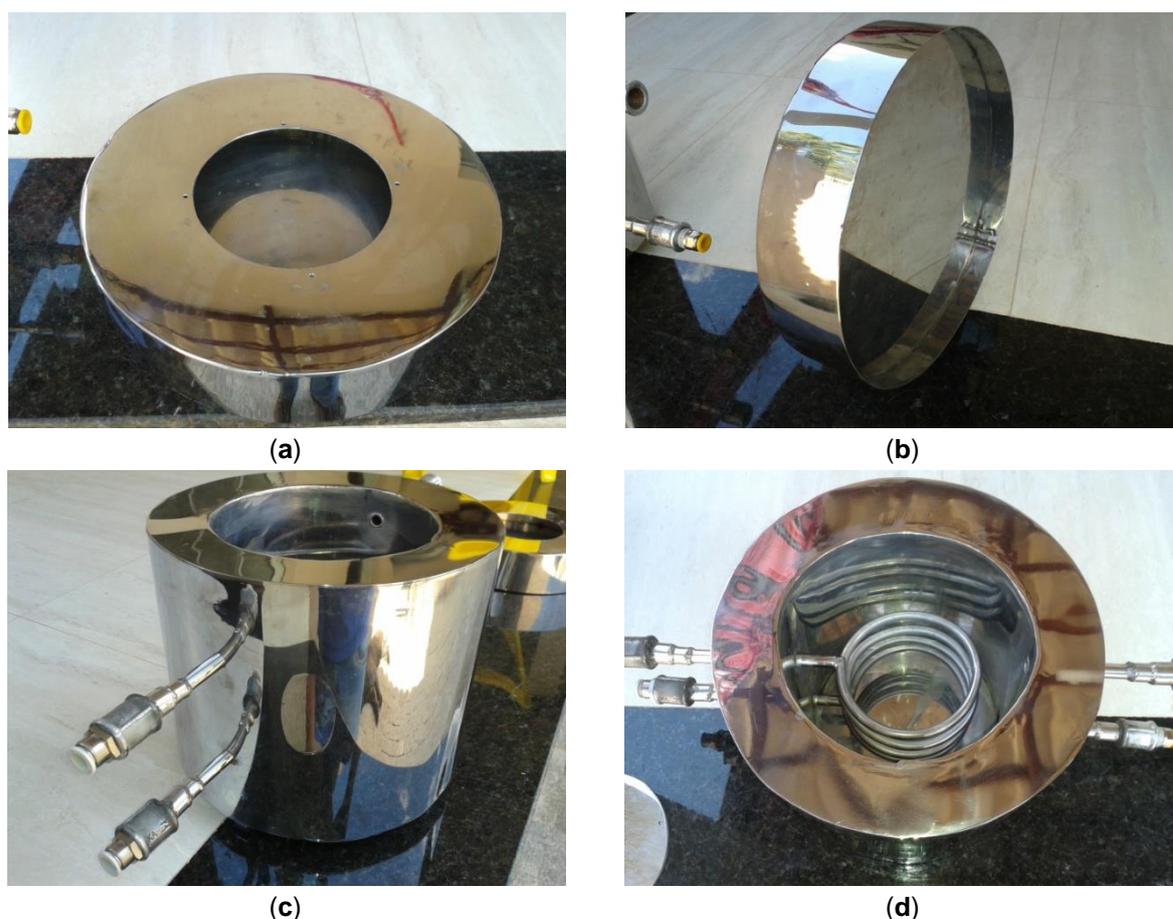


Figura 4.4. Reservatório do aquecedor. (a) Vista superior da tampa. (b) Vista lateral da tampa. (c) Vista lateral esquerda do reservatório. (d) Vista superior.

4.2 Cálculo da área do coletor

O coletor solar é um dispositivo onde ocorre a transferência do calor para água contida no seu interior por processos de condução, convecção e radiação. O coletor é fabricado como uma caixa onde o fundo e suas laterais são de chapas galvanizadas e a parte superior é constituída por vidro. O interior dos coletores é composto por tubos com aletas em sua superfície e cobertas por um vidro. A energia solar que incide por radiação é absorvida atravessando a parte superior de vidro do coletor solar, sendo que eles esquentam as aletas que são fabricadas de cobre ou alumínio e pintadas com uma tinta especial escura que ajuda na absorção máxima da radiação solar. Por processo de condução, o calor passa então das aletas para os tubos, no qual transfere calor para a água contida em seu interior. A eficiência do coletor é dada pela proporção da quantidade de energia absorvida pela quantidade de energia transmitida para a água (Carvalho, [s.d.]). Neste caso, considera-se a

eficiência de 60%. Para cálculo da área do coletor, baseou-se na irradiação solar da região de Belo Horizonte, conforme apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Irradiação solar por cidades

Cidades	Irradiação solar (kW/m²)
São Paulo	3,94
Porto Alegre	3,75
Belo Horizonte	4,46

O cálculo da área do coletor é obtido através da equação abaixo:

$$S = \frac{Q}{I \times N} = \frac{(3,9 \times 10^{-3}) \times 4,2 \times 45}{4,46 \times 0,6} = 0,27 \text{ m}^2 \quad (4.9)$$

Onde:

$$Q = \dot{m}cp\Delta T$$

I = irradiação solar local

N = eficiência do coletor

4.3 Definição do volume de água do reservatório do aquecedor

Considerando a vazão volumétrica de água do aquecedor igual a $3,9 \times 10^{-3}$ L/s e o tempo de funcionamento durante o dia igual a sete horas, tem-se:

$$V_{\text{água}} = \dot{V}t_s = (3,9 \times 10^{-3}) \times 7 \times 3600 = 98,28 \text{ L} \quad (4.10)$$

Portanto, considerando uma margem aproximada de 25%, o volume de água no reservatório deve ser de 120 L. Com isto, o volume do reservatório deve ter 0,12 m³.

4.4 Aproximação para a planta real com aquecedor solar

Supondo para uma planta real, na qual tem que ser aquecido 10.000 L de lixiviado, e o reservatório com diâmetro e altura iguais a 2,0 m e 3,2 m e considerando todas as perdas obteve-se:

Carga Térmica necessária: 1.468.439,47 kJ ou 351.301,30 kcal

Diâmetro tubulação serpentina: 19,05 mm

Vazão volumétrica: 8,4 L/s

Número de Reynolds: 1.337.052,7

Tipo de escoamento: turbulento

Número de Nusselt: 2.707,69

Coefficiente global (h): 93.809,81 W/m².K

Media logarítmica da diferença da temperatura: 12,42 °C

Comprimento tubulação serpentina: 5,83 m

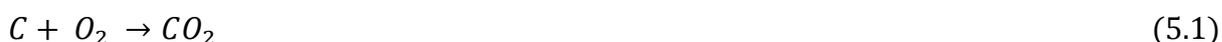
Área de coletor: 592,88 m²

5 CÁLCULOS PARA AQUECIMENTO COM CALDEIRA

O processo de combustão envolve a oxidação dos constituintes do combustível que são oxidáveis e podem ser representados por equações químicas. Durante o processo de combustão, a massa de cada elemento permanece a mesma.

Os cálculos do aquecimento por caldeira foram realizados conforme metodologia adaptada da literatura Wylen, Sonntag e Borgnakke, 1995.

Considere inicialmente a reação entre carbono e o oxigênio:



Essa equação indica que um mol de carbono (C) reage com um mol de oxigênio (O₂) para se obter um mol de (CO₂).

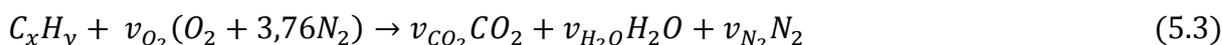
Quando um combustível constituído por hidrocarbonetos é queimado, o carbono e o hidrogênio são oxidados. Por exemplo, considere a combustão do metano (gás natural).



Neste caso os produtos são dióxido de carbono e água.

É muito comum ao invés de utilizar o oxigênio puro para combustão utilizar-se o ar atmosférico. Neste caso, foi utilizado o ar teórico constituído de 21% de oxigênio e 79% de nitrogênio, ou seja, para se obter um mol de O₂ obtém-se 3,76 mol de N₂, sendo o nitrogênio inerte a combustão.

A equação geral para a combustão de hidrocarbonetos com o ar é expressa por:



$$C: v_{CO_2} = x \quad (5.4)$$

$$H: v_{H_2O} = y \quad (5.5)$$

$$N_2: v_{N_2} = 3,76v_{O_2} \quad (5.6)$$

$$O_2: v_{O_2} = v_{CO_2} + v_{H_2O}/2 = x + y/4 \quad (5.7)$$

A Tabela 5.1 apresenta as propriedades químicas de algumas substâncias.

Tabela 5.1. Propriedades de substâncias a pressão de 0,1 mPa e temperatura 298 K

Substância	Fórmula	Massa molar	\bar{h}_f^0 kJ/kmol
Água (gás)	H ₂ O	18,15	- 241.826
Água (líquida)	H ₂ O	18,15	- 285.830
Metano	CH ₄	16,04	- 74.873
Propano	C ₃ H ₈	44,09	- 103.200
Butano	C ₄ H ₁₀	58,12	- 126.200
Etanol	C ₂ H ₅ OH	46,06	- 235.000
Monóxido de carbono	CO	28,01	- 137.163
Dióxido de carbono	CO ₂	44,01	- 394.389
Oxigênio monoatômico	O	16,0	249.170
Oxigênio diatômico	O ₂	31,99	0,00
Nitrogênio monoatômico	N	14,01	472.680
Nitrogênio diatômico	N ₂	28,01	0,00

* Extraída de Wylen, *et al.*, 1995, apêndice A-16, p.555.

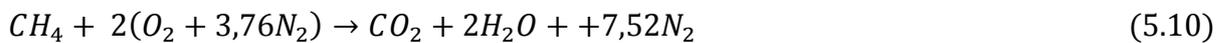
Aplicação da primeira lei termodinâmica em sistemas reagentes:

$$Q_{v.c.} + H_R \rightarrow W_{v.c} + H_P \quad (5.8)$$

$$Q_{v.c.} + \sum_R n_e \bar{h}_e \rightarrow W_{v.c} + \sum_P n_s \bar{h}_s \quad (5.9)$$

Onde os índices R e P se referem, respectivamente, aos reagentes e produtos.

Cálculo combustão do metano:



$$W_{v.c} = 0$$

$$\sum_R n_e \bar{h}_e = (\bar{h}_f^0)_{CH_4} = -74.873 \quad (5.11)$$

$$\sum_P n_s \bar{h}_s = (\bar{h}_f^0)_{CO_2} + 2(\bar{h}_f^0)_{H_2O} \quad (5.12)$$

$$\sum_P n_s \bar{h}_s = -393.522 + 2(-285.830) = -965.182$$

$$Q_{v.c.} \rightarrow W_{v.c} + \sum_P n_s \bar{h}_s - \sum_R n_e \bar{h}_e \quad (5.13)$$

$$Q_{v.c.} = -965.182 - 74.873 = -890.309 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

Esta energia é gerada por um mol de combustível, mas um mol de metano equivale a 16,04 kg, ou seja, o calor liberado por quilograma de combustível é 5.5495,16 kJ/kg.

Considerando que o rendimento do trocador de calor seja 70%.

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{calor transferido a água por quilograma de combustível}}{\text{poder calorífico superior do combustível}} \quad (5.14)$$

O calor liberado pela queima do gás será igual a 38.846,60 kJ/kg, o volume específico do metano $7,17 \times 10^{-1} \text{ kg/m}^3$. Assim, o calor liberado por $1,0 \text{ m}^3$ de gás será 27.853,01 kJ.

5.1 Consumo de gás para planta bancada

Como a carga térmica necessária para aquecer o tanque de lixiviado de três litros será 463,64 kJ, a massa de combustível necessária $11,93 \times 10^{-3} \text{ kg}$ que equivale a 16,63 litros de metano. Como deseja-se aquecer no tempo de uma hora, a vazão de gás será $4,62 \times 10^{-3} \text{ L/s}$.

6 AUTOMAÇÃO E CONTROLE

6.1 Microcontrolador

Para controlar a planta foram necessários sensores e atuadores, bem como um controle. Dentre os vários existentes no mercado se destacam o PLC e os microcontroladores. Neste trabalho, para controlar o processo de aquecimento do lixiviado foi utilizado o microcontrolador Arduino.

Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software [...] (Banzi, 2001, p.22).

O Arduino utiliza o microcontrolador Atmega. Um microcontrolador, também denominado MCU, consiste em um computador em um chip, que contém um microprocessador, memória e periféricos de entrada e saída, conforme apresentado na Figura 6.1.



Figura 6.1. Arduino Uno R3

Com o Arduino é possível mensurar variáveis do ambiente externo, transformadas em um sinal elétrico correspondente, através de sensores ligados aos seus terminais de entrada. De posse da informação, ele pode processá-la computacionalmente. O Arduino é baseado em uma placa microcontrolada com acessos de Entrada e Saída (I/O), sobre o qual foi desenvolvida uma biblioteca de

funções que simplificam a sua programação, por meio de uma sintaxe similar à das linguagens C e C++.

Neste projeto, utilizou-se os pinos de entradas analógica para receber os dados dos sensores de temperatura, e os pinos de saída digital para o controle da vazão da bomba de circulação de água quente.

6.2 Sensor de temperatura

Pode-se monitorar a temperatura do ambiente através de circuitos integrados dedicados a esse propósito. Dentre as vantagens destes componentes está a facilidade na sua aplicação, uma vez que ele concentra todos os componentes necessários para a verificação da temperatura em uma única peça. O princípio de funcionamento destes circuitos é muito semelhante ao do termistor, pois ambos baseiam-se no fato de que o comportamento dos materiais semicondutores depende da temperatura. Mas o fato de ser um único circuito integrado, geralmente não necessita de nenhum componente extra, facilitando a utilização.

A principal classificação desses sensores é feita de acordo com o sinal de saída deles. Os modelos mais simples são os analógicos. Assim como qualquer sensor analógico, eles possuem um sinal de saída cuja tensão corresponde a temperatura do ambiente onde se encontra o sensor. Este sinal analógico pode ser utilizado por outro circuito analógico, como um AmpOp comparador, ou pode ser convertido em um sinal digital para ser monitorado por um circuito digital, como um microcontrolador (Patsko, 2006).

6.2.1 Sensor de temperatura LM35

O LM35 é um sensor de temperatura de precisão ao qual a sua tensão no pino de saída é linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius. A Figura 6.2 mostra o sensor de temperatura que foi utilizado.

emitido pelo sensor. Para minimizar o ruído, um filtro passa-baixa é usado para isolar o sinal de tensão do sensor LM35 dos ruídos.

Foi usado um filtro passa-baixa de segunda ordem composto por $R1 = 4,7\text{ K}\Omega$ $R2 = 330\Omega$ $C1 = 1\mu\text{F}$ $C2 = 1\text{nF}$. As Figuras 6.3 e 6.4 ilustram o circuito elétrico e visualização em 3D do filtro.

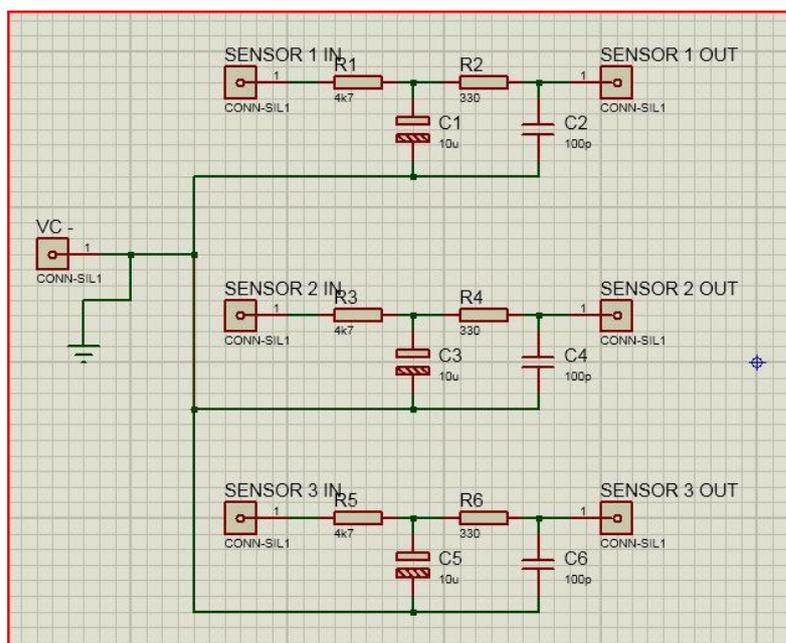


Figura 6.3. Circuito elétrico do filtro

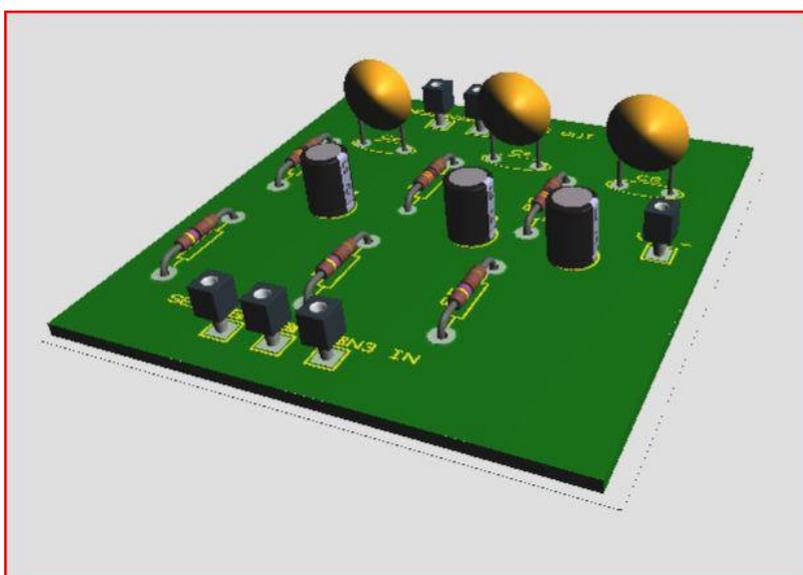


Figura 6.4. Visualização 3D do filtro

6.2.3 Acoplamento dos sensores de temperatura LM35

Para aquisição das temperaturas, acoplou-se o sensor LM35 na entrada e saída da serpentina (Figura 6.5). Para medir a temperatura do lixiviado fixou-se o sensor na parede do reservatório de aquecimento junto ao isolante térmico.



Figura 6.5. Acoplamentos dos sensores

6.3 Bomba de circulação de água aquecida

A bomba utilizada para a circulação de água aquecida foi Flojet 3000 (Tabela 6.1) (Figura 6.6), mesmo esta bomba possuindo vazão superior àquela calculada, ela foi empregada por estar disponível no laboratório de tratamento e reuso de efluente e resíduos industriais da UFMG, dispensando a compra da mesma.

Tabela 6.1. Descrição da bomba

Modelo	Flojet 3000 series diaphragm pump Mod 03501506
Tensão	12 V DC
Corrente	8 Ampères
Vazão	0,13 L/s
Pressão	4,1 Psi



Figura 6.6. Bomba de circulação de água aquecida

6.3.1 Driver de acionamento da bomba de circulação de água aquecida

O *driver* da bomba controla a vazão baseado no sinal de baixa potência proveniente do Arduino, sendo este uma onda quadrada com o pico em 5 V e o vale em 0 V com a frequência fixa de 500 Hz. O controle desta onda é determinado pelo PWM (*Pulse Width Modulation*) do microcontrolador, que em cada período o Arduino controla o tempo do sinal ligado 5 V (nível alto) e o tempo da onda em 0 V (nível baixo). Esta variação permite controlar a potência liberada em cada ciclo e, conseqüentemente, a potência da carga. Para o controle da faixa de potência liberada escreve-se um valor de 0 a 255 no PWM do Arduino de forma que 0 corresponde 0% e 255 corresponde a 100% da potência (Figura 6.7).

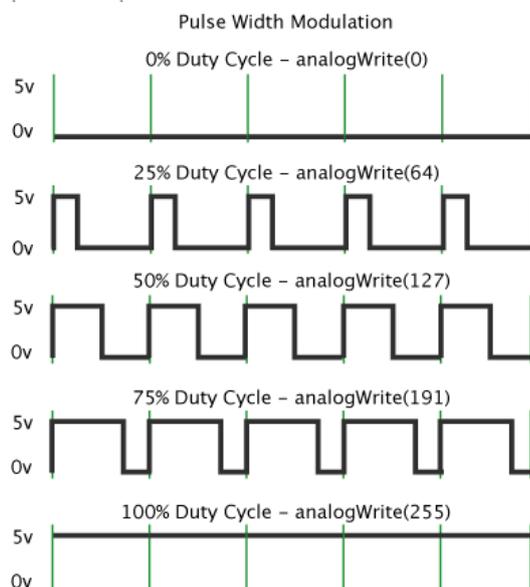


Figura 6.7. Sinal do PWM

Fonte: Arduino, 2014.

Para isolar o circuito de controle com o de carga foi utilizado acoplador óptico 4n25 (Anexo A4). Este dispositivo isola fisicamente dois circuitos, consistindo em um emissor e receptor de luz, assim, o acionamento ocorre através da emissão de luz não havendo contato entre os circuitos (Motorola, Inc, 1995)

O 4n25 recebe e transmite os pulsos do PWM na base do Mosfet IRF530 (Anexo A2) com uma tensão em nível alto de 12 V, fazendo com que o Mosfet funcione como uma chave fechada. Já em nível baixo, 0 V, funciona como uma chave aberta.

É importante garantir que o Mosfet esteja na zona de saturação para que funcione como chave liga e desliga. Baseado no *datasheet* do IRF530 a tensão de saturação $v_{GS} = 4 V$. O acoplador óptico que, por sua vez, aplica uma tensão de 12 V no gate mantendo o Mosfet região de saturação.

Por sua vez o Ln25 transmite os pulsos do PWM para a base do Mosfet IRF530. Quando a onda do PWM esta no nível auto (12 V) faz com que o transistor atue como uma chave fechada. Quando a onda do PWM esta no nível baixo (0 V) o Mosfet funciona como uma chave aberta.

Projetado o circuito do *driver* (Figura 6.8) foi gerada a visualização 3D da placa (Figura 6.9).

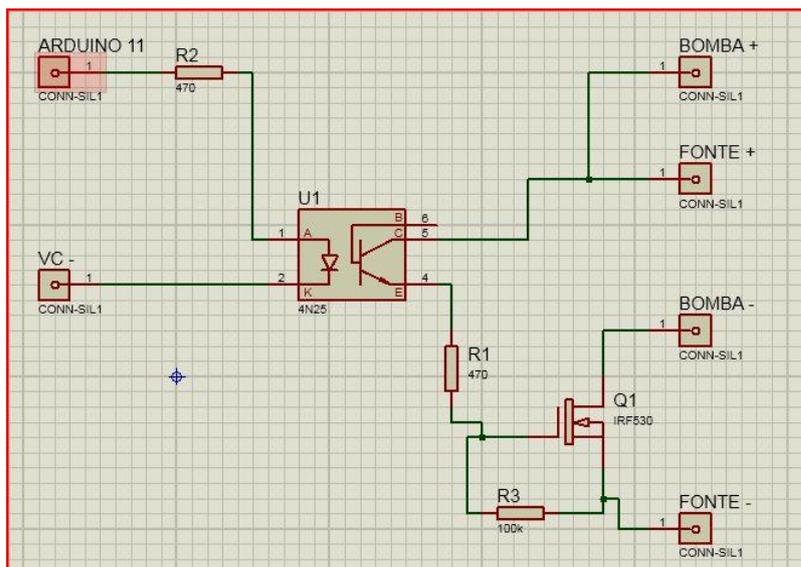


Figura 6.8. Circuito elétrico do driver

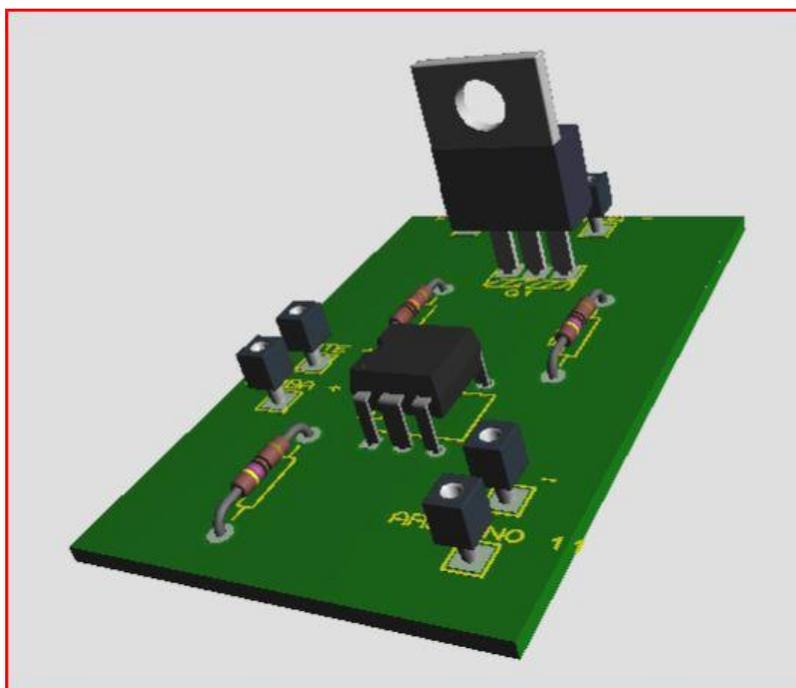


Figura 6.9. Visualização 3D do driver

6.3.2 Ajuste da vazão

Para a parametrização da vazão com a potência da bomba de circulação de água aquecida, utilizou-se o rotâmetro mostrado na Figura 6.10. O uso deste, se deu pelo alto custo do sensor eletrônico de vazão. Variou-se a potência da bomba até obter a vazão pretendida visivelmente no rotâmetro. A vazão estabelecida para o processo correspondeu a 3,14% da potência total da bomba.



Figura 6.10. Rotâmetro

6.4 Fonte DC

Para alimentar o circuito e a bomba de circulação de água quente utilizou-se uma fonte chaveada (Figura 6.11). Esta foi escolhida por possuir menor aquecimento e fornecer uma tensão mais estável quando comparada a fontes lineares. Os dados técnicos da fonte encontram-se na Tabela 6.2. Para proteção da fonte usou-se fusível de 30 A na sua alimentação e de 10 A na saída.



Figura 6.11. Fonte DC

Tabela 6.2. Especificações da fonte

Fonte chaveada S-350-12		Tensão	Corrente
Entrada	Alternada	127 V	6,5 A
		220 V	4 A
Saída	Contínua	12 V	29 A

6.5 Interface computacional

6.5.1 LabVIEW

O LabVIEW consiste em um *software* base da plataforma de projeto da *National Instruments*, o qual é indicado para sistemas de medição ou controle. Este programa é um ambiente de desenvolvimento voltado à resolução de problemas, produtividade acelerada e inovação contínua, através da integração de diversas ferramentas utilizadas por cientistas e engenheiros com um tempo relativamente menor.

Por meio de sua plataforma de programação gráfica auxilia os engenheiros do projeto ao teste de sistemas de pequeno e grande porte. O LabVIEW tem como vantagem o uso de tecnologias computacionais avançadas, oferecendo integração sem precedentes com *software*, IP e *hardware* já implementados (National Instruments, 2014)

Neste projeto foi necessário a utilização do *Toolkit* Arduino disponibilizado pelo criador do LabVIEW, que proporciona a interface entre o *software* e o microcontrolador. Através do *Toolkit* é possível a coleta de dados e controle do Arduino utilizando as bibliotecas do LabVIEW, além de desenvolver algoritmos para controlar o *hardware* do Arduino e apresentar seus resultados em uma interface clara e simples para o usuário.

Para a comunicação entre o Arduino e o LabVIEW foi necessário gravar um programa no microcontrolador Arduino que atua como mecanismo de E/S, fazendo a interface com os VIs do LabVIEW por uma conexão serial (Anexo A3). Através disto, foi possível passar rapidamente as informações dos pinos do Arduino ao LabVIEW sem precisar de ajustes na comunicação ou sincronização e, nem mesmo, em uma única linha de código C.

6.5.2 Implementação do sistema

Para o controle do sistema de aquecimento proposto, foi desenvolvida uma interface no LabVIEW que recebe os dados dos sensores de temperatura e envia comandos para controlar a vazão da bomba de circulação de água quente.

6.5.2.1 Aquisição de dados dos sensores de temperatura

Através dos blocos de dados do *Toolkit* é adquirido o valor da tensão de cada sensor de temperatura conectado a porta de entrada analógica do microcontrolador.

A Figura 6.12 mostra os blocos recebendo sinais dos sensores através dos pinos A0, A1 e A2, em seguida realiza a transformação da tensão em graus Celsius multiplicando a tensão por 100. Feito isto, os sinais são enviados aos indicadores de temperatura.

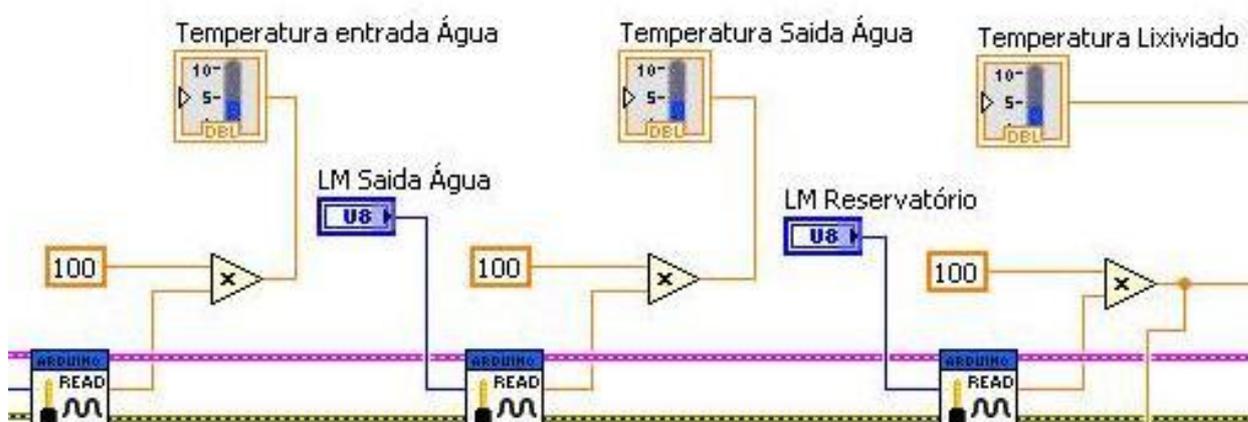


Figura 6.12. Aquisição de sinais de entrada

6.5.2.2 Controle da vazão da bomba

O controle da vazão da bomba é realizado através o bloco de escrita PWM do *Toolkit* (Arduino PWM Write), sua função é receber um valor de 0 a 255 e enviar o sinal processado ao pino de saída digital do Arduino que, em seguida, é conectado ao *driver* da bomba conforme já mencionado anteriormente. Para a visualização da vazão da bomba em porcentagem, dividiu-se o valor que o bloco recebe por 2,55 e este sinal é enviado ao indicador de vazão (Figura 6.13).

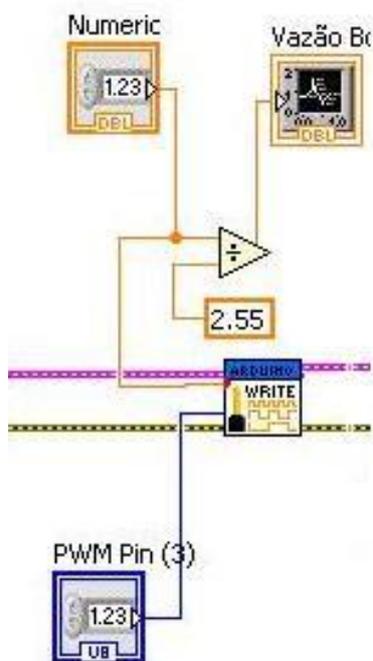


Figura 6.13. Controle de vazão

6.5.2.3 Temperatura do lixiviado no reservatório

Com o sinal do sensor já transformado em graus Celsius, faz-se com que o mesmo passe por um comparador, sendo que, quando a temperatura ultrapassar o valor desejável (65 °C), ascenderá um indicador conforme pode ser visto na Figura 6.14.

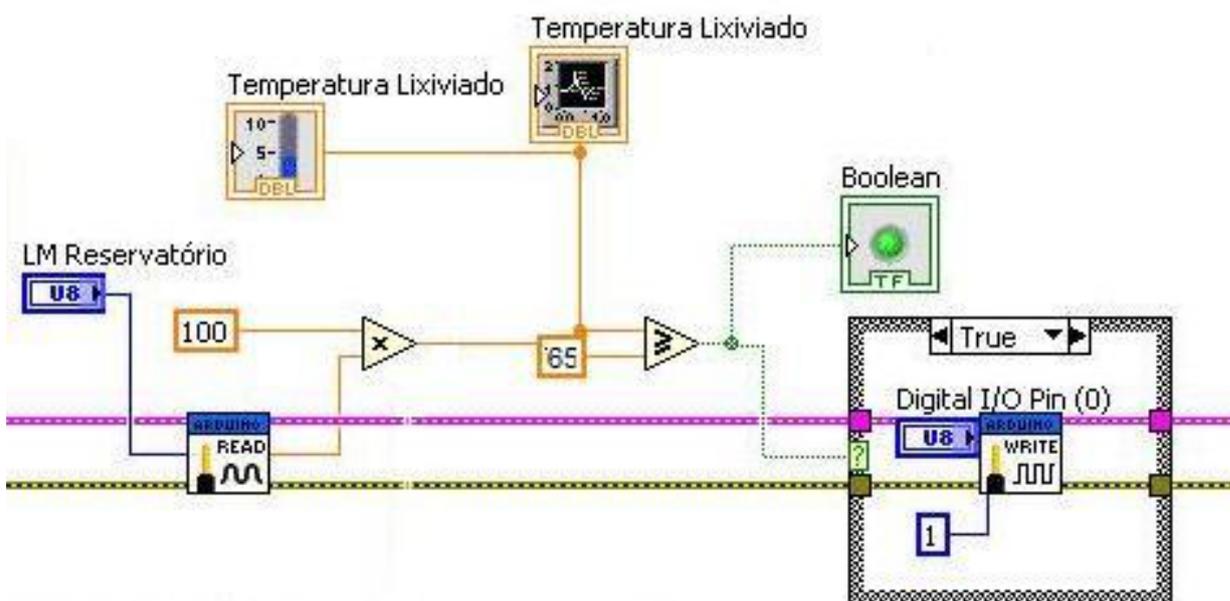


Figura 6.14. Temperatura do lixiviado

6.5.2.4 Aquisição de dados da planta

Para a coleta de dados foi utilizado o bloco *Write to Measurement File*. Este tem como finalidade salvar os dados em arquivo txt, sendo um da vazão com o tempo e outro com temperatura do lixiviado com o tempo. A Figura 6.15 permite a visualização da aquisição de dados.

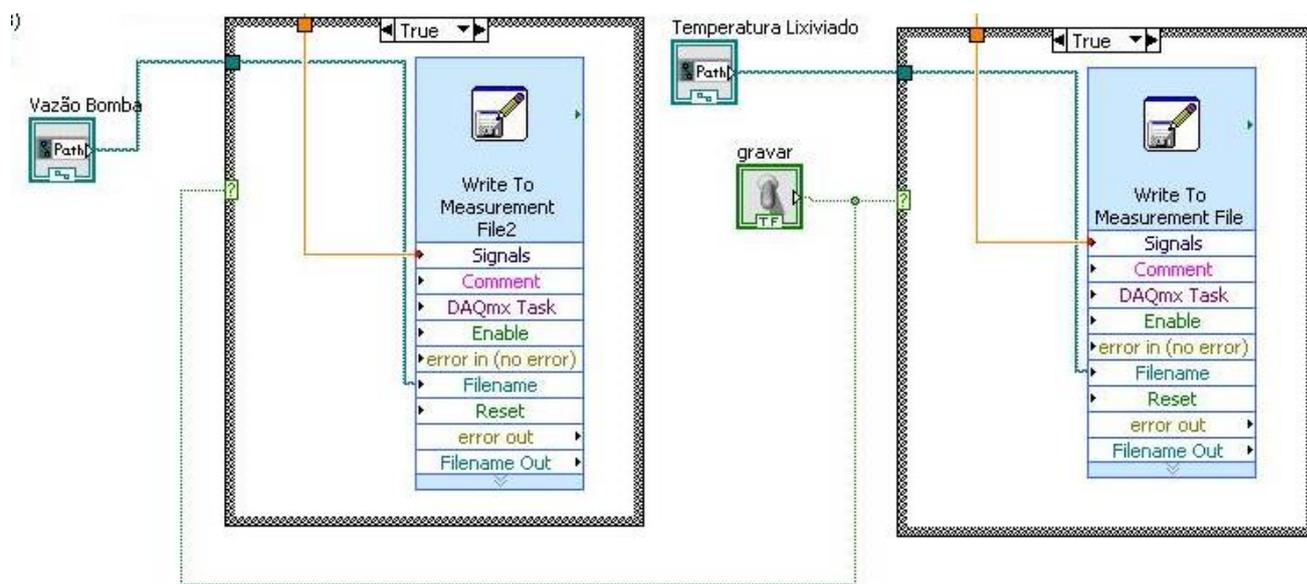


Figura 6.15. Aquisição de dados

6.5.3 Layout do diagrama de bloco

A Figura 6.16 apresenta o diagrama de blocos completo com aquisição de dados dos sensores, controle de vazão da bomba, indicador temperatura do lixiviado e aquisição de dados da planta.

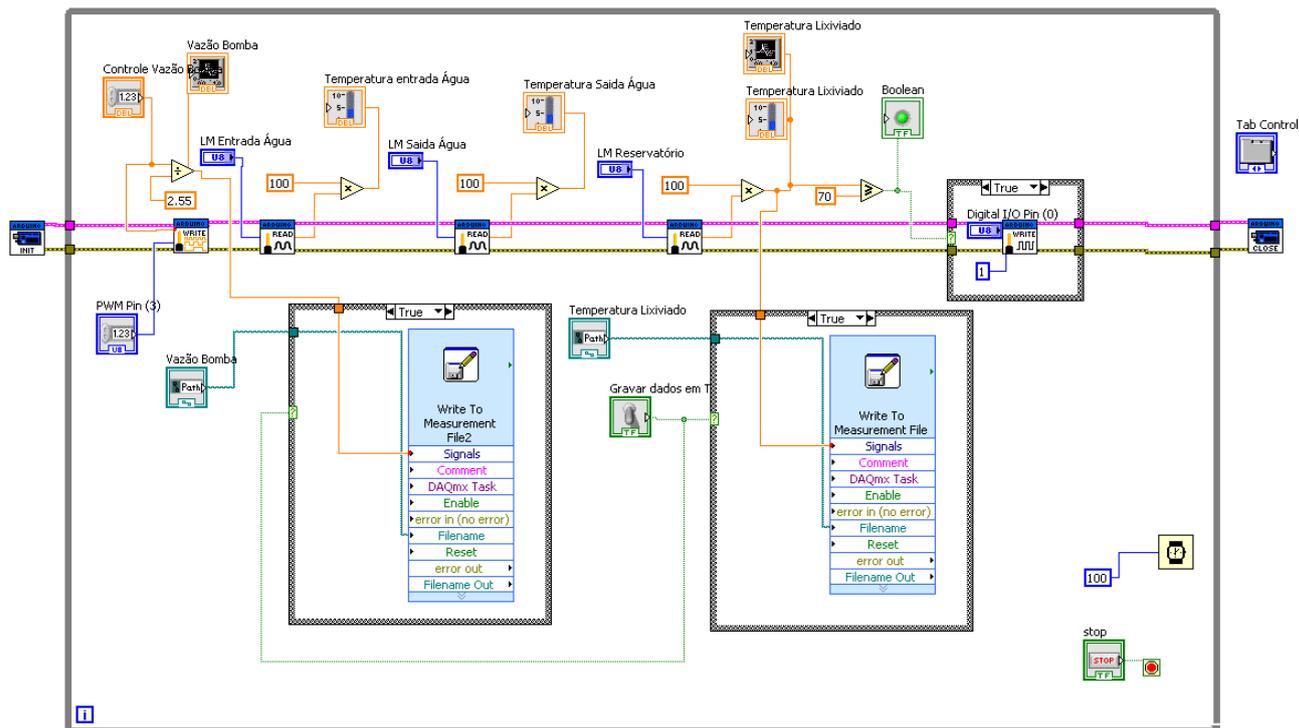


Figura 6.16. Diagramas de blocos

6.5.4 Interface com usuário

Ao ser desenvolvida a interface com o usuário optou-se em dividir as operações em abas, a fim de se manter uma organização. Na aba Pinos disponibiliza a opção de escolha dos pinos usados para a entrada e saída de sinais do Arduino. Para as entradas de sinais dos sensores de temperatura foi utilizado o pino 0 para entrada de água quente da serpentina, pino 1 para saída de água quente da serpentina e pino 2 para temperatura do lixiviado. Para a saída de dados foi empregado o pino 7 para o led indicador de temperatura do lixiviado e pino 11 para o *driver* da bomba de circulação de água aquecida (Figura 6.17).

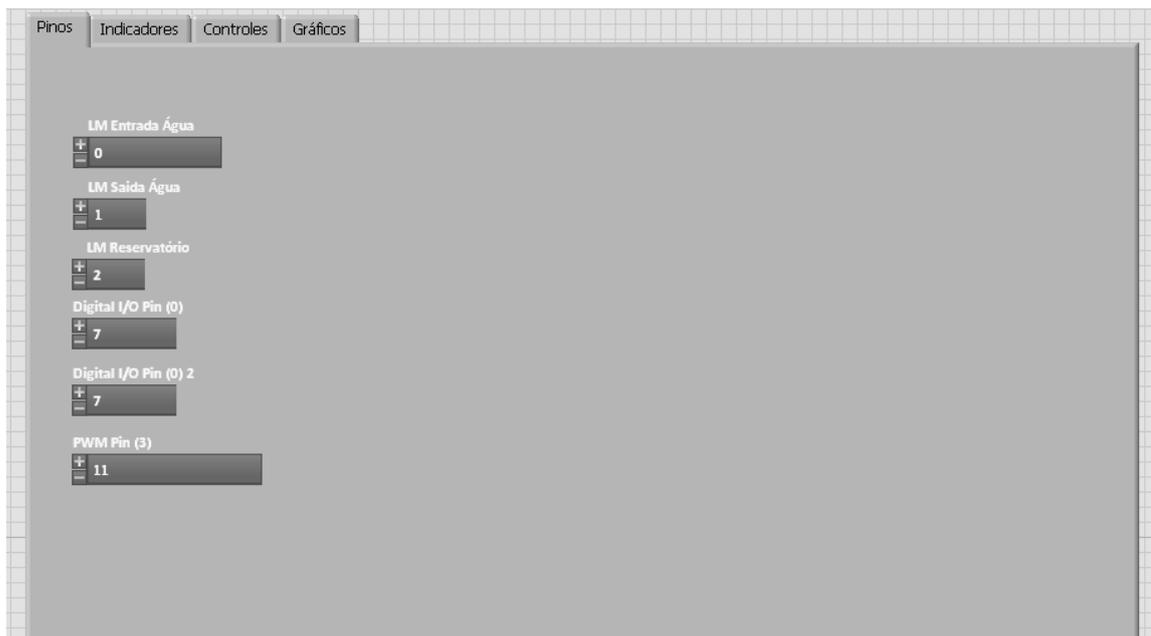


Figura 6.17. Aba Pinos

Conforme ilustrado na Figura 6.18, é possível visualizar a aba Indicadores, a qual tem a função de mostrar ao usuário as temperaturas mensuradas no sistema, tais como, a de entrada e saída de água aquecida da serpentina e a temperatura do lixiviado dentro do reservatório de aquecimento.

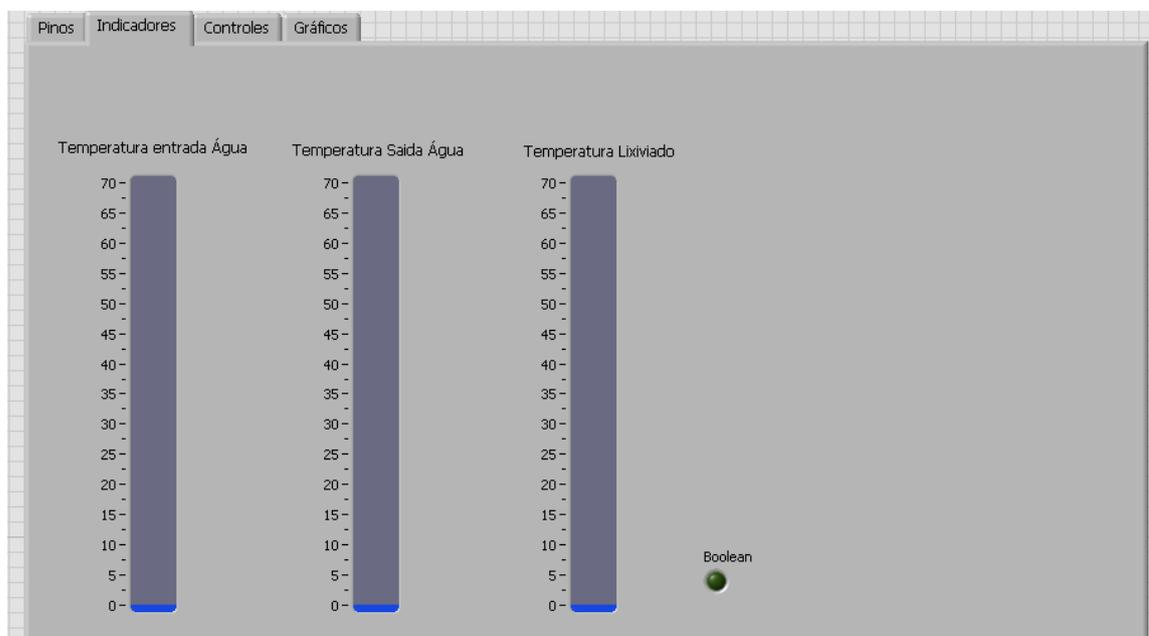


Figura 6.18. Aba Indicadores

Para a operação de controle de vazão da bomba de circulação de água aquecida e gravação dos dados coletados do sistema foi criado a aba Controles (Figura 6.19).



Figura 6.19. Aba Controles

A aba Gráficos tem por finalidade exibir os gráficos da vazão e a temperatura pelo tempo. Também nesta aba, encontra-se a opção de escolha de diretório para salvar os dados que estão sendo exibidos nos gráficos (Figura 6.20).

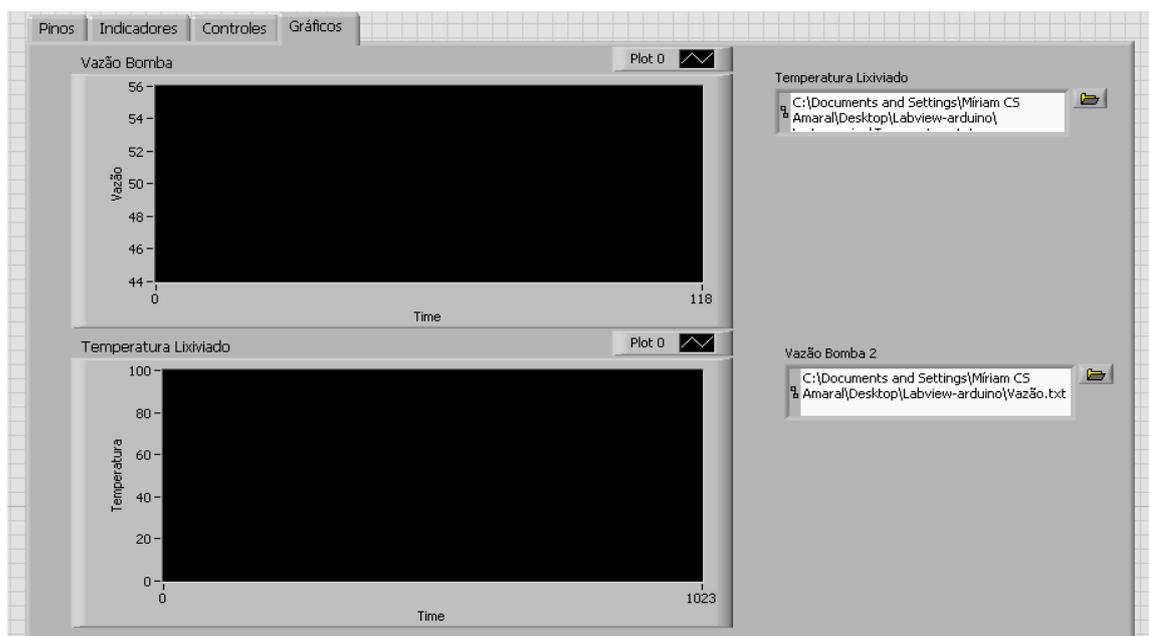


Figura 6.20. Aba Gráficos

7 PLANTA PILOTO

7.1 Aquecedor solar

Os orçamentos foram realizados após a estimativa da área do coletor solar e o volume do reservatório de água aquecida (boiler), que foram de 0,27 m² e 120 L respectivamente. Estes equipamentos não foram adquiridos nestas medidas pelo elevado custo de fabricação. Assim, optou-se por comprar o coletor e o reservatório que se encontram disponíveis no mercado, tendo como área 1,7 m² e volume de 200 L.

Neste contexto, o fato de se trabalhar com um coletor superdimensionado não alterou o foco do trabalho, uma vez que utiliza-se uma vazão constante e intervalo de tempo predefinido, sendo o volume de água a ser empregado somente o calculado.

A Figura 7.1 mostra o reservatório de água aquecida que foi utilizado. O corpo interno do mesmo é composto por aço inoxidável 304, isolado com poliuretano, tubos em aço inoxidável e revestimento externo de alumínio (Ecol, 2014).

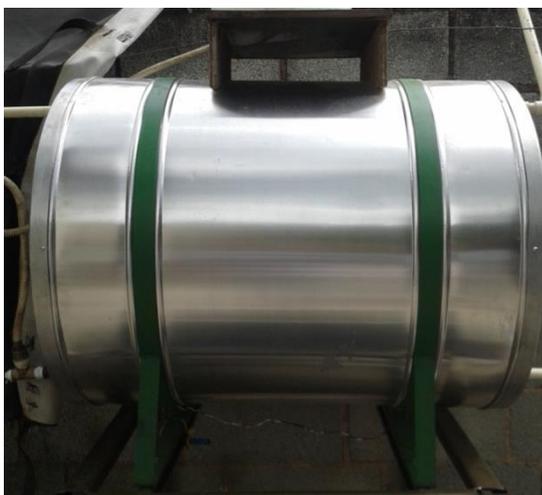


Figura 7.1. Boiler

O coletor solar adquirido possui 1,7 m de comprimento por 1,0 m de largura, é fabricado com vidro de 3 mm, aletas em alumínio pintadas de preto, tubos em cobre, perfil em alumínio, isolante térmico em lã de vidro e fundo em chapa de alumínio (Ecol, 2014) (Figura 7.2).



Figura 7.2. Coletor solar

7.2 Painel de controle

A Figura 7.3 ilustra o painel de controle do sistema de aquecimento do lixiviado. O microcontrolador Arduino encontra se identificado como item 1, e tem os pinos de entrada analógica A0, A1 e A2 conectados ao filtro (item 2). A saída digital 11 do Arduino foi conectada ao *driver* da bomba (item 4). Os itens 5 e 6 são os conectores de saída para a bomba de circulação, e os itens 8 e 9 são a alimentação de 12 V DC. Para a ligação dos sensores de temperatura foram utilizados os conectores representados pelos itens de 10 a 14.

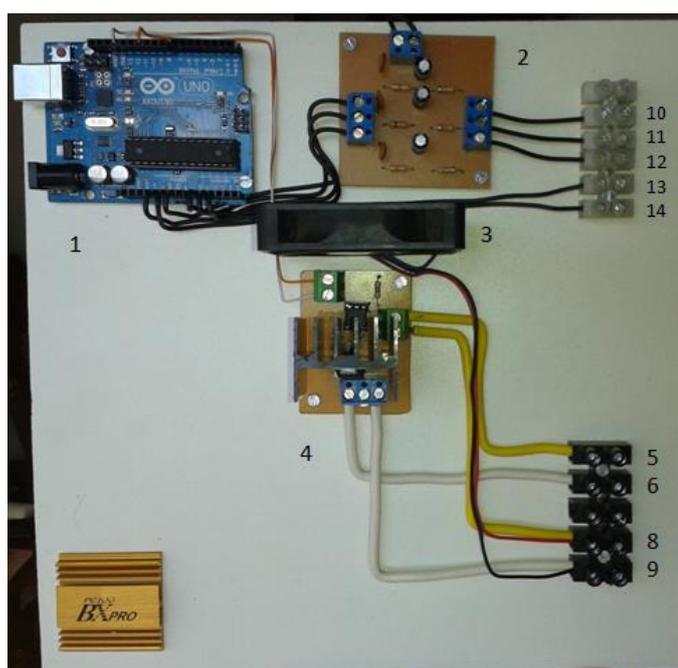


Figura 7.3. Painel de controle

O item 3 refere-se ao *cooler* que foi utilizado para o resfriamento do transistor do *driver*, apesar de trabalhar-se com uma corrente baixa. Optou-se por esta utilização, se eventualmente necessitar-se trabalhar com uma vazão maior não haverá problemas de superaquecimento do transistor.

7.3 Montagem da planta piloto

Na montagem da planta piloto foram realizados os acoplamentos da bomba de circulação de água aquecida, aquecedor solar, reservatório de lixiviado e painel de controle. Para fazer a ligação entre eles foram empregadas mangueiras PU de 12 mm e conexões de engate rápido de 12 mm. A Figura 7.4 apresenta a planta finalizada.



Figura 7.4. Planta piloto

8 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Inicialmente foi proposto o funcionamento do aquecedor por um período de cinco horas, com a utilização de dois reservatórios de aquecimento. O uso de dois reservatórios teria como objetivo utilizar um deles no processo de aquecimento, e o outro aquecido para alimentar a torre de *air stripping* por cinco horas, que é o tempo de trabalho da mesma.

Como havia a hipótese da mudança do tempo do processo de *air stripping* para uma hora, calculou-se também a vazão necessária para este período de tempo. Optou-se trabalhar com este tempo pela necessidade do uso da vazão de água aquecida maior, pois a bomba usada não permitia uma vazão menor.

Após a montagem do aquecedor, acoplamento do reservatório e bomba aguardou-se que a temperatura alcançasse um valor elevado para iniciar os testes. Foram realizados dois testes com o tempo de uma hora cada em dias diferentes.

O primeiro teste realizou-se com a temperatura da água do aquecedor aos 41 °C. O pouco tempo de exposição ao sol e as condições climáticas, justificam a baixa temperatura da água do aquecedor neste teste.

Abastecido o reservatório de aquecimento com solução de 1,5 g/L cloreto de amônio, esperou-se que a temperatura interna do mesmo estabilizasse. Aos 30,87 °C iniciou-se o processo de gravação de dados e acionou-se a bomba para que iniciasse a circulação de água quente na serpentina do reservatório de aquecimento. Implementou-se 3,14% da vazão total da bomba, de acordo com a calculada anteriormente para o período de tempo de uma hora. Alcançado o período programado esperou-se dez minutos, além do estimado, para que a temperatura se estabilizasse.

Devido à temperatura estar abaixo da estimada, pretendia-se que durante o intervalo de uma hora, a temperatura do lixiviado estabilizasse bem próxima a de entrada de água quente. O gráfico da Figura 8.1 evidencia que os resultados obtidos foram bem próximos aos esperados, pois no final do processo a temperatura do lixiviado estabilizou-se bem próximo aos 41 °C.

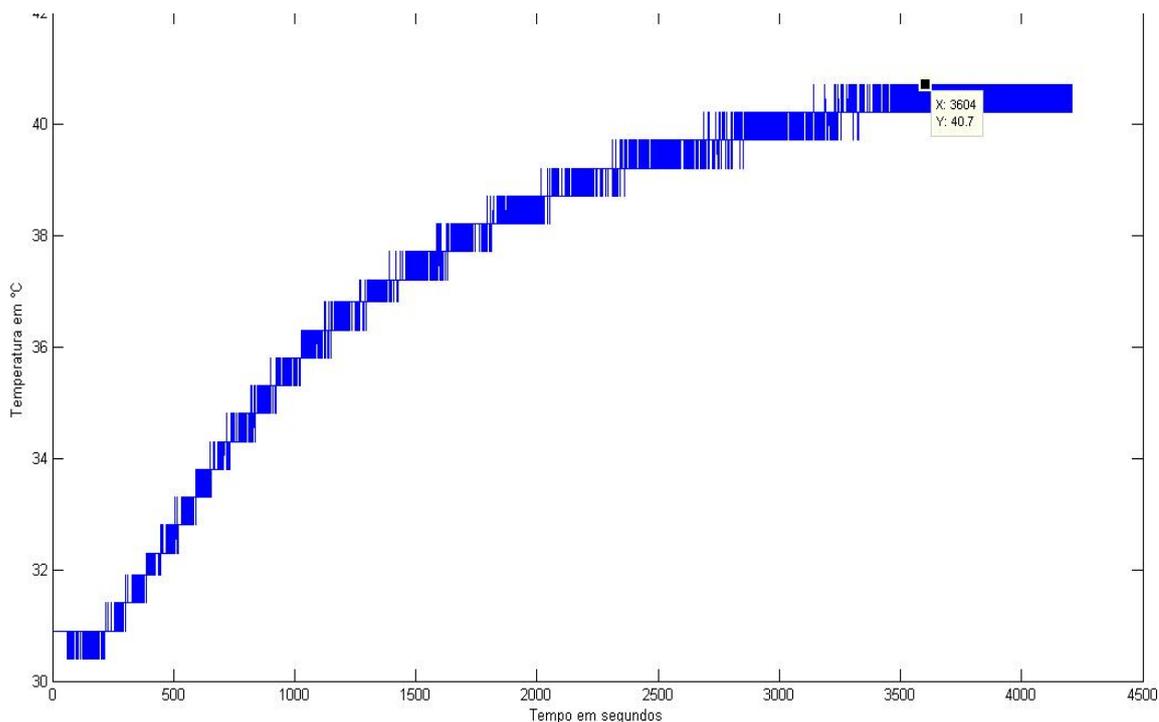


Figura 8.1. Gráfico com temperatura de 41 °C

No segundo teste a temperatura da água no aquecedor alcançou cerca de 56 °C. Os procedimentos utilizados neste teste foram os mesmos adotados no primeiro. Também como esperado, o gráfico da Figura 8.2 mostra que no final do período de uma hora a temperatura do lixividado estabilizou-se próximo dos 56 °C.

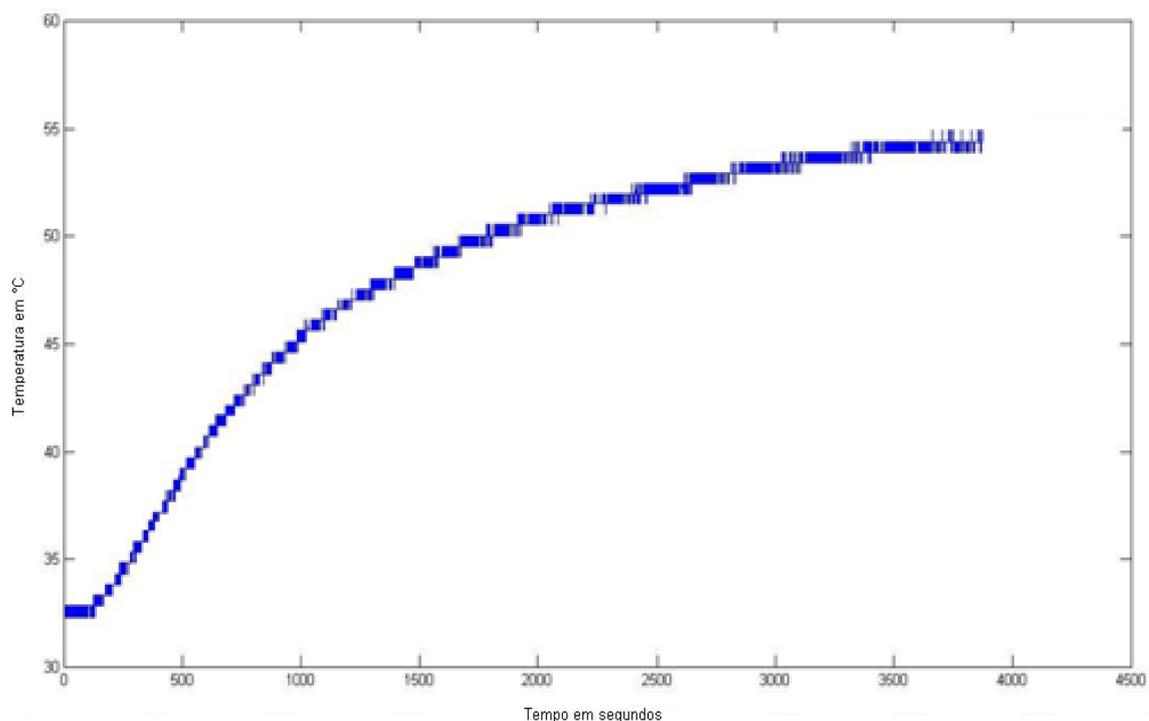


Figura 8.2. Gráfico com temperatura de 56 °C

9 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

9.1 Planta piloto

A Tabela 9.1 apresenta os recursos utilizados para a construção da planta piloto.

Tabela 9.1. Gastos para a montagem da planta piloto

Componentes	Valores (R\$)
Reservatório com serpentina	450,00
Percloroeto de ferro	15,00
Arduino	55,00
Componentes eletrônicos	58,00
Conexões e tubos CPVC	160,00
Placa do aquecedor solar	400,00
Boiler de 200 L	800,00
Suporte para o boiler	65,00
Mangueiras e conexões	43,00
Bomba	400,00
Fonte chaveada	150,00
Perfil para o suporte aquecedor	70,00
Total	2.626,00

9.2 Planta real

Com intuito de estudar a viabilidade da implantação deste projeto, foi realizada a estimativa de custo para aquecimento elétrico e caldeira. Foi calculado o consumo para aquecimento por resistência elétrica, considerando que a planta funcione no período de oito horas por dia. A Tabela 9.2 descreve os gastos por hora e ano do sistema.

Tabela 9.2. Gastos com energia para planta real

Parâmetros	Valores
Energia térmica total (kJ)	1.468.439,47
Consumo (kW)	407,90
Estimando o custo por hora (R\$)	240,66
Custo por ano (R\$)	702.730,12

Para o aquecimento por caldeira, calculou-se o volume necessário de gás para alimentar o sistema (Tabela 9.3). O tempo de funcionamento utilizado para os cálculos foi o mesmo usado para o elétrico. Como proposto anteriormente, este gás será proveniente de aterros sanitários.

Tabela 9.3. Gastos com gás para planta real

Parâmetros	Valores
Energia térmica total (kJ)	1.468.439,47
Volume por hora (m ³)	52,72
Consumo de gás por ano (m ³)	153.942,40

A Tabela 9.4 mostra aproximação dos gastos para o aquecimento da planta real utilizando o aquecedor solar.

Tabela 9.4. Gastos para a montagem da planta real

Componentes	Valores (R\$)
Reservatório de 10.000 L com serpentina	26.000,00
Poliuretano	3.655,00
PLC	35.000,00
Conexões e tubos CPVC	16.800,00
Placa do aquecedor solar	140.000,00
Boiler de 150.000 L	600.000,00
Mangueira de 12 mm e engates rápidos	20.000,00
Bomba	3.100,00
Total	810.183,00

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho projetou-se um sistema de aquecimento para extração de amônia, mediante elaboração de um projeto piloto do reservatório do aquecedor, acoplado com a serpentina para aquecimento do lixiviado.

Através das análises dos resultados obtidos, observou-se a veracidade dos cálculos realizados neste projeto, o qual consistiu em elevar a temperatura do lixiviado a um valor desejável em determinado intervalo de tempo.

A aplicabilidade deste projeto ficou evidente quando foram analisadas as avaliações econômicas do aquecimento por energia solar, elétrico e por caldeira. Para a planta real por aquecedor solar, os gastos serão elevados na construção, porém, com a manutenção eles serão consideravelmente pequenos quando comparados aos gastos por aquecedor elétrico.

Diante dos resultados obtidos, esperava-se que a temperatura da água do aquecedor atingisse 70 °C como disponibiliza o fabricante, no entanto, a temperatura observada foi 56 °C. Este fato se deu pelo local de instalação do aquecedor, fazendo com que o coletor ficasse exposto ao sol somente das treze às dezoito horas, acarretando baixa absorção de calor.

Apesar desta diferença, o trabalho não foi prejudicado, uma vez que o intuito era verificar a transferência de calor da água para o lixiviado com a vazão e intervalo de tempo predefinido. Isto pôde ser verificado analisando os gráficos da temperatura pelo tempo. Conforme disponibilizado na literatura, ao submeter o lixiviado a esta temperatura, há um aumento significativo na eficiência da remoção da amônia no processo de *air stripping*.

A caldeira não foi implementada pela falta de recursos financeiros e tempo para a execução. Pela análise das avaliações econômicas ficou evidente que a interação dos sistemas de aquecimento solar e caldeira, é satisfatória quando comparada ao aquecimento por resistência elétrica.

11 REFERÊNCIAS

- ARDUINO. **PWN**. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Tutorial/PWM>> Acesso em fevereiro de 2014.
- ASHBY, M.; KARA, J. **Materiais e design: Arte e ciência da seleção de materiais no design do produto**. Rio de Janeiro: Elsevier 2011.
- BANZI, M. **Primeiros passos com o Arduino**. São Paulo: Novatec, 2011.
- BASTOS, F. A. **Estudo da remoção de nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (air stripping) em lixiviado de aterro sanitário**. 2011. 166 (Mestre em Engenharia Ambiental). Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- CALLISTER JR., W. D. R., D. G. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC 2008.
- CARVALHO, C. H. F. **Projeto de um sistema de aquecimento solar de água para pousadas**. [s.d.]. 55 (Especialização em Fontes Alternativas de Energia). Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras Lavras.
- CEMIG. Disponível em: <www.cemig.com.br> Acesso em agosto de 2013.
- COLLIVIGNARELLI, C. et al. **Ammonia stripping from MSW landfill leachate in bubble reactors: process modeling and optimization**. Waste Management & Research, v. 16, p. 455-466, 1998.
- ECOL. **Instruções técnicas aquecedor solar**. Disponível em: <http://www.ecolaquecedores.com.br/arquivos/instalacao_tec.htm> Acesso em fevereiro de 2014.
- EDEN, R. **Removal of ammonia from leachate in Hong Kong**. Organics Ltd, The Barclay Centre, University of Warwick Science Park, Coventry, CV4 7EZ, United Kingdom 2001.
- MORAN, M. et al. **Introdução à engenharia de sistemas térmicos**. Rio de Janeiro: LTC 2005.
- MOTOROLA. **4N25: 6-Pin DIP optoisolators transistor output**, 1995 Disponível em: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2846/MOTOROLA/4N25.html>> Acesso em fevereiro de 2014.
- MOURA, D. A. G. **Remoção de amônia por arraste com ar de lixiviados de aterros sanitários**. 2008. 131 (Mestre em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NATIONAL INSTRUMENTS. **NI LabVIEW interface for Arduino toolkit**. Disponível em: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/209835>> Acesso em fevereiro de 2014.

PATSKO, L. F. **Tutorial aplicações, funcionamento e utilização de sensores**. Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica, 2006.

SISINNO, C. L. S. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2000. 62.

ST. **IRF530 N-Channel 100V - 0.115 Ω - 14A TO-220 low gate charge STripFET™ II Power Mosfet**, agosto de 2002. Disponível em: <<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000699.pdf>> Acesso em março de 2013.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Precision centigrade temperature sensors**, agosto de 1999. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>> Acesso em março de 2013.

VENZON, M. **Proposta de utilização de energia solar para aquecimentos de águas e fluentes para linhas de tratamento de superfície na Atlas Indústria de Eletrodomésticos Ltda**. 2004. 59 (Especialização em Fontes Alternativas de Energia). Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

WYLEN, G., J. V.; SONNTAG, R.; BORGNACKE, C. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 1995.

12 ANEXOS

Anexo A1. Datasheet LM35 (Texas Instruments, 1999)



LM35

www.ti.com

SNIS159C –AUGUST 1999 –REVISED JULY 2013

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

FEATURES

- Calibrated Directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10 mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at +25°C)
- Rated for Full –55°C to +150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 to 30 V
- Less than 60-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Nonlinearity Only ±¼°C Typical
- Low Impedance Output, 0.1 W for 1 mA Load

DESCRIPTION

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, with an output voltage linearly proportional to the Centigrade temperature. Thus the LM35 has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¼°C over a full –55°C to +150°C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 make interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a –55°C to +150°C temperature range, while the LM35C is rated for a –40°C to +110°C range (–10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

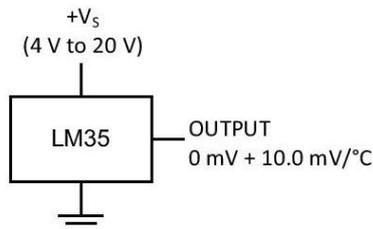
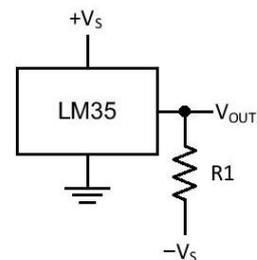


Figure 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)



Choose $R_1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = 1500 \text{ mV}$ at 150°C
 $V_{\text{OUT}} = 250 \text{ mV}$ at 25°C
 $V_{\text{OUT}} = -550 \text{ mV}$ at –55°C

Figure 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1999–2013, Texas Instruments Incorporated

LM35



SNIS159C –AUGUST 1999–REVISED JULY 2013

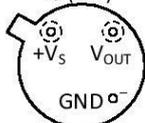
www.ti.com



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

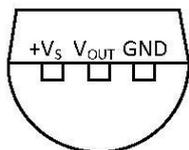
CONNECTION DIAGRAMS

METAL CAN PACKAGE
TO (NDV)

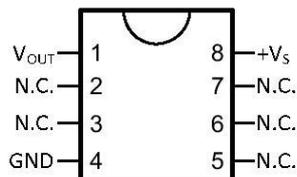


Case is connected to negative pin (GND)

PLASTIC PACKAGE
TO-92 (LP)
BOTTOM VIEW

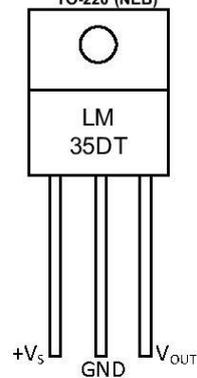


SMALL-OUTLINE MOLDED PACKAGE
SOIC-8 (D)
TOP VIEW



N.C. = No connection

PLASTIC PACKAGE
TO-220 (NEB)



Tab is connected to the negative pin (GND).

NOTE: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP



LM35

www.ti.com

SNIS159C – AUGUST 1999 – REVISED JULY 2013

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾⁽²⁾

		MIN	MAX	UNIT	
Supply voltage		-0.2	35	V	
Output voltage		-1	6	V	
Output current			10	mA	
Electrostatic discharge (ESD) susceptibility ⁽³⁾			2500	V	
Storage temperature	TO Package	-60	180	°C	
	TO-92 Package	-60	150		
	TO-220 Package	-65	150		
	SOIC-8 Package	-65	150		
Lead temperature	TO Package (soldering, 10 seconds)		300	°C	
	TO-92 and TO-220 Package (soldering, 10 seconds)		260		
	SOIC Package	Infrared (15 seconds)	220		
		Vapor phase (60 seconds)	215		
Specified operating temperature range: T_{MIN} to T_{MAX} ⁽⁴⁾	LM35, LM35A		-55	150	°C
	LM35C, LM35CA		-40	110	
	LM35D		0	100	

- (1) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (2) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See [Note 1](#).
- (3) Human body model, 100 pF discharged through a 1.5-kW resistor.
- (4) Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W, junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the [APPLICATIONS](#) section.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾⁽²⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A			LM35CA			UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	
Accuracy ⁽⁵⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1	
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1		± 0.4	± 1		
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1		± 0.4		± 1.5	
Nonlinearity ⁽⁶⁾	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor gain (average slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10	+9.9 +10.1		+10		+9.9 +10.1	mV/°C
Load regulation ⁽⁷⁾ $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1		± 0.4	± 1		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3	± 0.5		± 3	
Line regulation ⁽⁷⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	

- (1) Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq 150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = 5 \text{ Vdc}$ and $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of [Figure 2](#). These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of [Figure 1](#). Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.
- (2) Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.
- (3) Tested Limits are ensured and 100% tested in production.
- (4) Design Limits are ensured (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.
- (5) Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10 mV/°C times the case temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).
- (6) Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the rated temperature range of the device.
- (7) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

LM35



SNIS159C – AUGUST 1999 – REVISED JULY 2013

www.ti.com

ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾⁽²⁾ (continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A			LM35CA			UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	
Quiescent current ⁽⁸⁾	$V_S = 5\text{ V}, 25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = 5\text{ V}$	105		131	91		114	
	$V_S = 30\text{ V}, 25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		
	$V_S = 30\text{ V}$	105.5		133	91.5		116	
Change of quiescent current ⁽⁷⁾	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}, 25^\circ\text{C}$	0.2	1		0.2	1		μA
	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$	0.5		2	0.5		2	
Temperature coefficient of quiescent current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum temperature for rate accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2	+1.5		+2	$^\circ\text{C}$
Long term stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

(8) Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾⁽²⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35			LM35C, LM35D			UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	
Accuracy, LM35, LM35C ⁽⁵⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1		± 0.4	± 1		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2	
Accuracy, LM35D ⁽⁵⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2	
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2	
Nonlinearity ⁽⁶⁾	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor gain (average slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10	+9.8, +10.2		+10		+9.8, +10.2	$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Load regulation ⁽⁷⁾ $0 \leq I_L \leq 1\text{ mA}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2		± 0.4	± 2		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5	± 0.5		± 5	
Line regulation ⁽⁷⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	

(1) Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq 150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = 5\text{ Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50\text{ }\mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

(2) Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

(3) Tested Limits are ensured and 100% tested in production.

(4) Design Limits are ensured (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

(5) Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10 $\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the case temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

(6) Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the rated temperature range of the device.

(7) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.



LM35

www.ti.com

SNIS159C – AUGUST 1999 – REVISED JULY 2013

ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾⁽²⁾ (continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35			LM35C, LM35D			UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	
Quiescent current ⁽⁸⁾	$V_S = 5\text{ V}, 25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = 5\text{ V}$	105		158	91		138	
	$V_S = 30\text{ V}, 25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		
	$V_S = 30\text{ V}$	105.5		161	91.5		141	
Change of quiescent current ⁽⁹⁾	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}, 25^\circ\text{C}$	0.2	2		0.2	2		μA
	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$	0.5		3	0.5		3	
Temperature coefficient of quiescent current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum temperature for rate accuracy	In circuit of Figure 1 , $I_L = 0$	+1.5		+2	+1.5		+2	$^\circ\text{C}$
Long term stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

(8) Quiescent current is defined in the circuit of [Figure 1](#).

(9) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

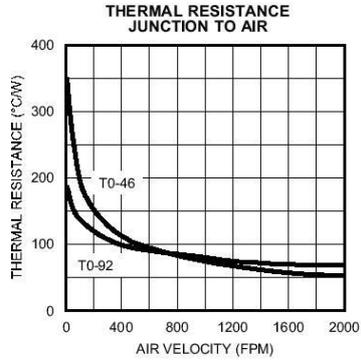


Figure 3.

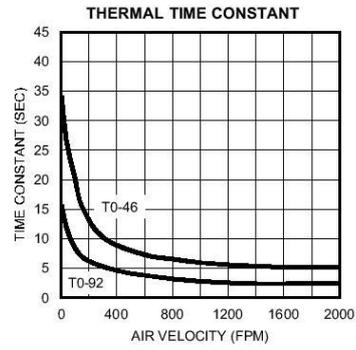


Figure 4.

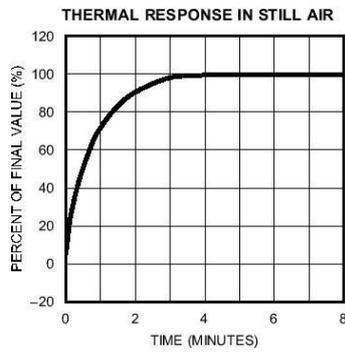


Figure 5.

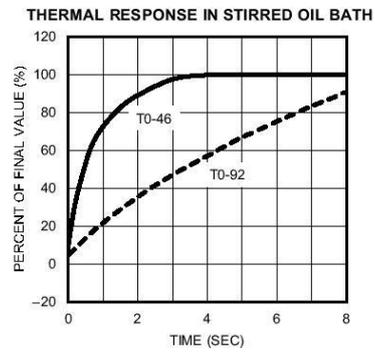


Figure 6.

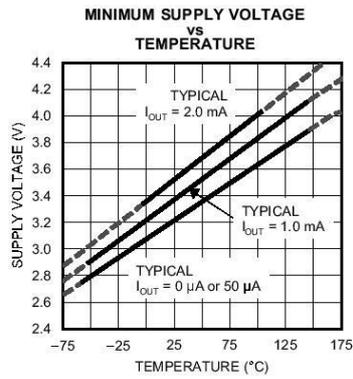


Figure 7.

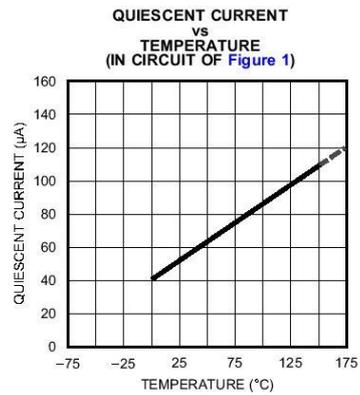


Figure 8.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

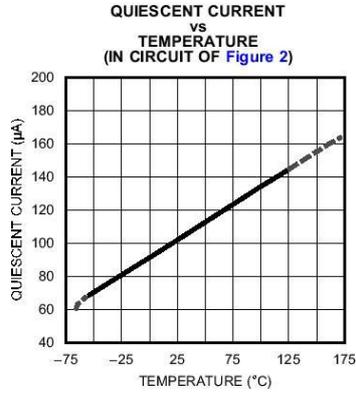


Figure 9.

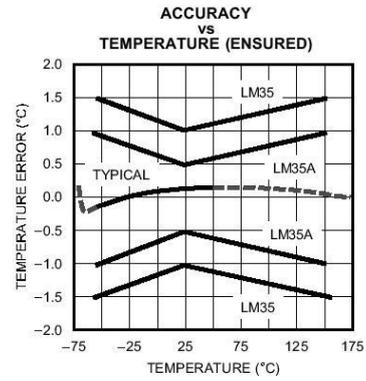


Figure 10.

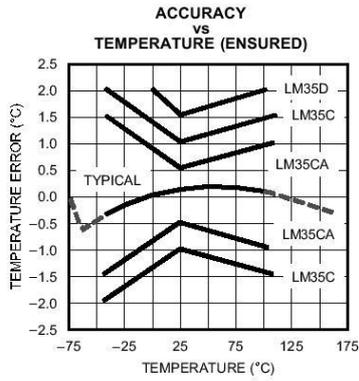


Figure 11.

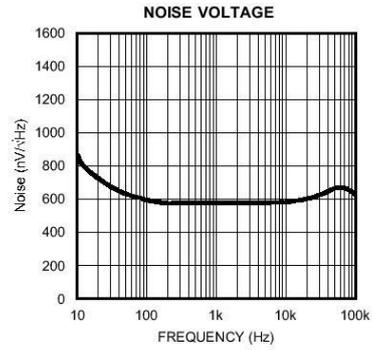


Figure 12.

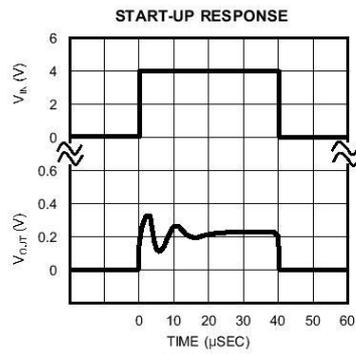


Figure 13.

Anexo A2. Datasheet IRF530 (ST, 2002)



IRF530

**N-CHANNEL 100V - 0.115 Ω - 14A TO-220
 LOW GATE CHARGE STripFET™ II POWER MOSFET**

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRF530	100 V	<0.115 Ω	14 A

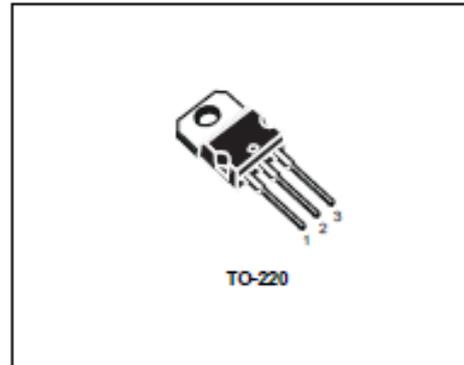
- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.115 Ω
- AVALANCHE RUGGED TECHNOLOGY
- 100% AVALANCHE TESTED
- LOW GATE CHARGE
- HIGH CURRENT CAPABILITY
- 175 °C OPERATING TEMPERATURE

DESCRIPTION

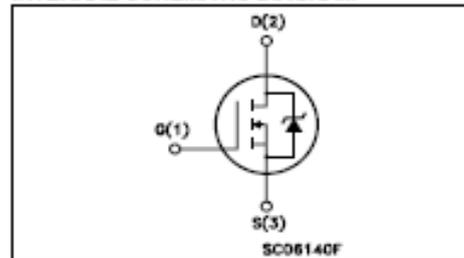
This MOSFET series realized with STMicroelectronics unique STripFET™ process has specifically been designed to minimize input capacitance and gate charge. It is therefore suitable as primary switch in advanced high-efficiency, high-frequency isolated DC-DC converters for Telecom and Computer applications. It is also intended for any applications with low gate drive requirements.

APPLICATIONS

- HIGH CURRENT, HIGH SWITCHING SPEED
- SOLENOID AND RELAY DRIVERS
- REGULATOR
- DC-DC & DC-AC CONVERTERS
- MOTOR CONTROL, AUDIO AMPLIFIERS
- AUTOMOTIVE ENVIRONMENT (INJECTION, ABS, AIR-BAG, LAMPDRIVERS, etc.)



TO-220

INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	100	V
V _{DGR}	Drain-gate Voltage (R _{GS} = 20 k Ω)	100	V
V _{GS}	Gate-source Voltage	± 20	V
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 25°C	14	A
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 100°C	10	A
I _{DM} (*)	Drain Current (pulsed)	56	A
P _{tot}	Total Dissipation at T _C = 25°C	60	W
	Derating Factor	0.4	W/°C
dv/dt (1)	Peak Diode Recovery voltage slope	20	V/ns
E _{AS} (2)	Single Pulse Avalanche Energy	70	mJ
T _{stg}	Storage Temperature	-55 to 175	°C
T _J	Operating Junction Temperature		

(*) Pulse width limited by safe operating area.

(1) I_D < 14A, di/dt < 300A/ μ s, V_{DD} < V_{(BR)DSS}, T_J < T_{JMAX}
(2) Starting T_J = 25 °C, I_D = 14A, V_{DD} = 50V

August 2002

NEW DATASHEET ACCORDING TO PCN DSGCT/IC02 MARKING: IRF530 @

1/8

IRF530

THERMAL DATA

$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	2.5	$^{\circ}C/W$
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	62.5	$^{\circ}C/W$
T_l	Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose		300	$^{\circ}C$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}C$ unless otherwise specified)

OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source Breakdown Voltage	$I_D = 250 \mu A, V_{GS} = 0$	100			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current ($V_{GS} = 0$)	$V_{DS} = \text{Max Rating}$ $V_{GS} = \text{Max Rating}$ $T_C = 100^{\circ}C$			1 10	μA μA
I_{GSS}	Gate-body Leakage Current ($V_{DS} = 0$)	$V_{GS} = \pm 20 V$			± 100	nA

ON (*)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}$ $I_D = 250 \mu A$	2	3	4	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{GS} = 10 V$ $I_D = 7 A$		0.115	0.16	Ω

DYNAMIC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$g_{fs} (*)$	Forward Transconductance	$V_{DS} = 15 V$ $I_D = 7 A$		7		S
C_{iss} C_{oss} C_{riss}	Input Capacitance Output Capacitance Reverse Transfer Capacitance	$V_{DS} = 25V, f = 1 MHz, V_{GS} = 0$		458 68 29		pF pF pF

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

SWITCHING ON

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$ t_r	Turn-on Delay Time Rise Time	$V_{DD} = 50\text{ V}$ $I_D = 7\text{ A}$ $R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (Resistive Load, Figure 3)		16 25		ns ns
Q_g Q_{gs} Q_{gd}	Total Gate Charge Gate-Source Charge Gate-Drain Charge	$V_{DD} = 80\text{ V}$ $I_D = 14\text{ A}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$		16 3.7 4.7	21	nC nC nC

SWITCHING OFF

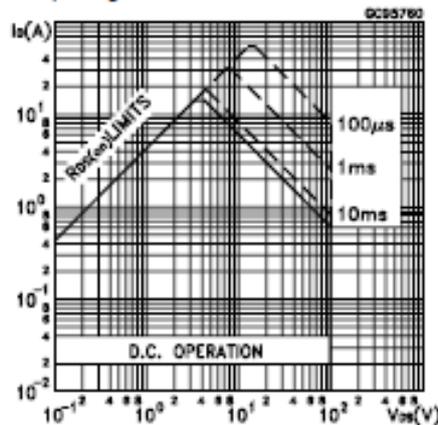
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(off)}$ t_f	Turn-off Delay Time Fall Time	$V_{DD} = 50\text{ V}$ $I_D = 7\text{ A}$ $R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (Resistive Load, Figure 3)		32 8		ns ns

SOURCE DRAIN DIODE

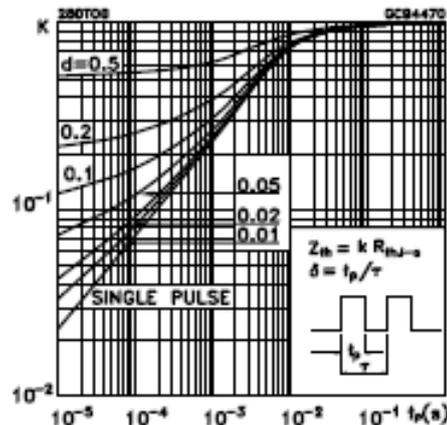
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{SD} $I_{SDM} (*)$	Source-drain Current Source-drain Current (pulsed)				14 56	A A
$V_{SD} (*)$	Forward On Voltage	$I_{SD} = 14\text{ A}$ $V_{GS} = 0$			1.6	V
t_{rr} Q_{rr} I_{RRM}	Reverse Recovery Time Reverse Recovery Charge Reverse Recovery Current	$I_{SD} = 14\text{ A}$ $di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_{DD} = 10\text{ V}$ $T_J = 150^\circ\text{C}$ (see test circuit, Figure 5)		92 230 5		ns nC A

(*) Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %
(*) Pulse width limited by safe operating area.

Safe Operating Area

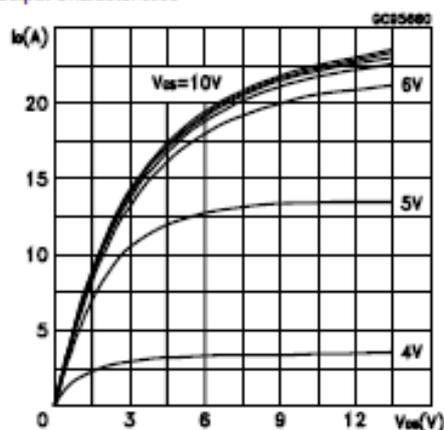


Thermal Impedance

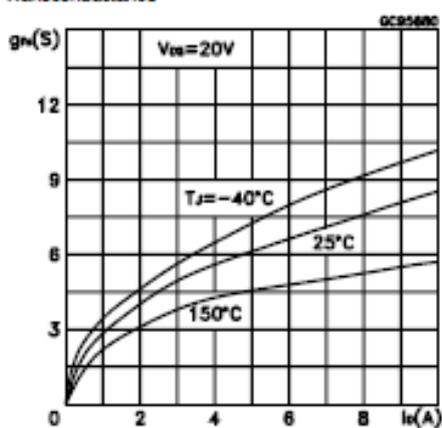


IRF530

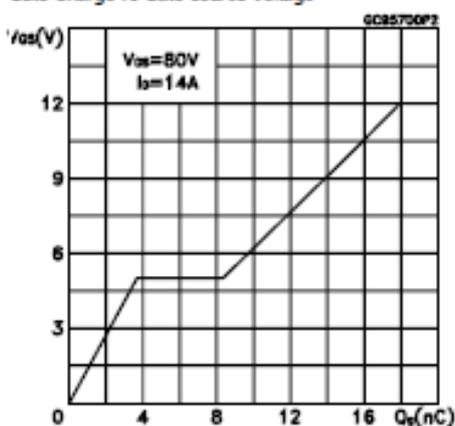
Output Characteristics



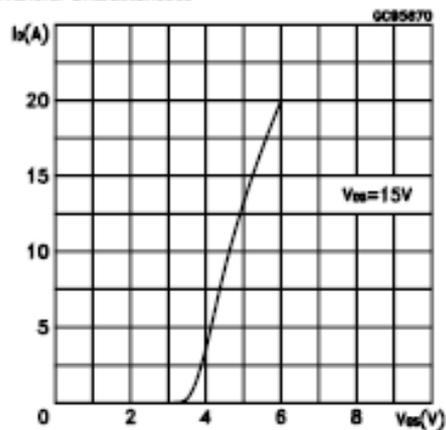
Transconductance



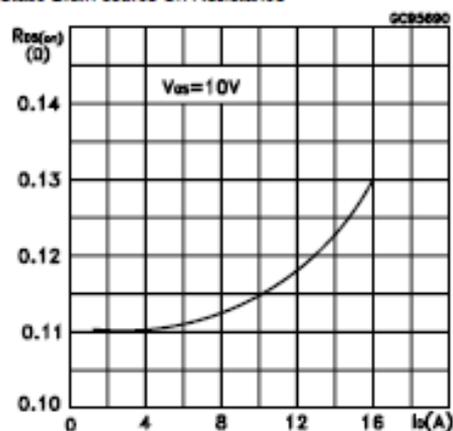
Gate Charge vs Gate-source Voltage



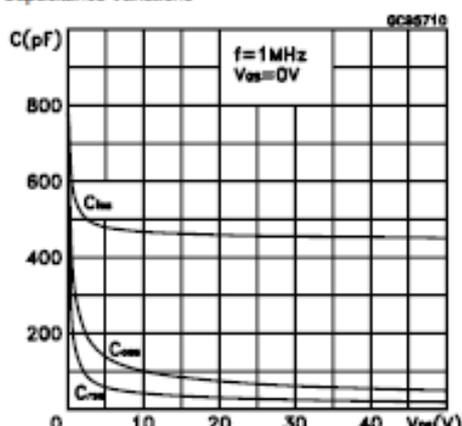
Transfer Characteristics



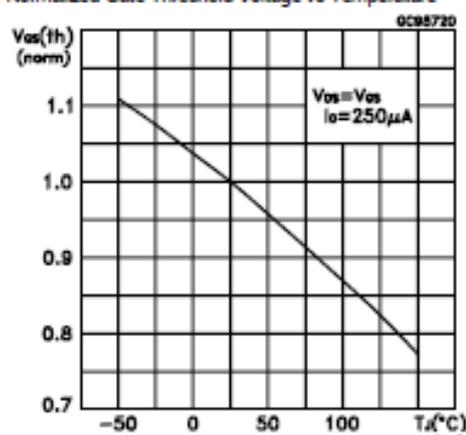
Static Drain-source On Resistance



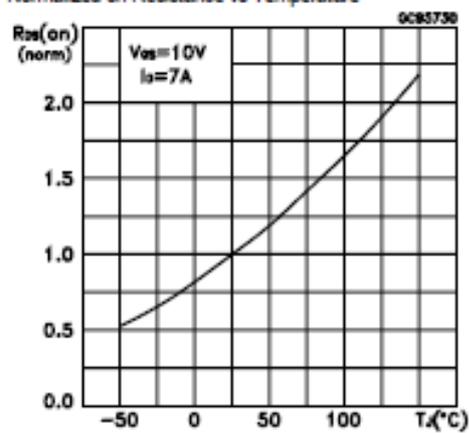
Capacitance Variations



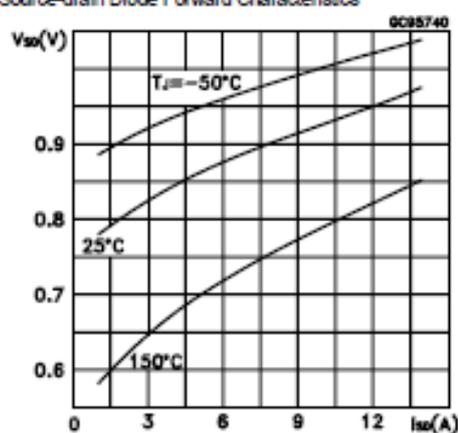
Normalized Gate Threshold Voltage vs Temperature



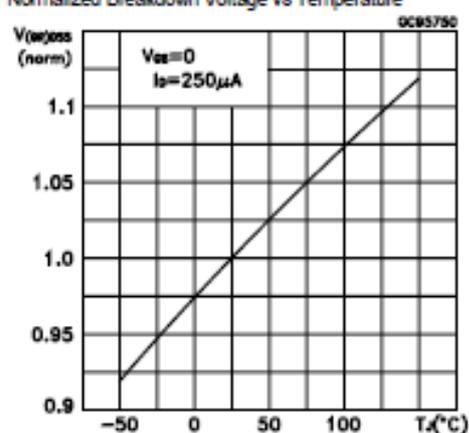
Normalized on Resistance vs Temperature



Source-drain Diode Forward Characteristics



Normalized Breakdown Voltage vs Temperature



IRF530

Fig. 1: Unclamped Inductive Load Test Circuit

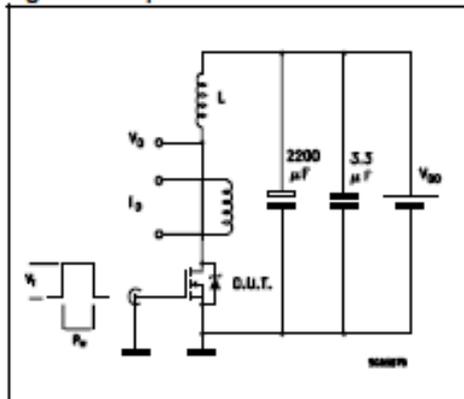


Fig. 2: Unclamped Inductive Waveform

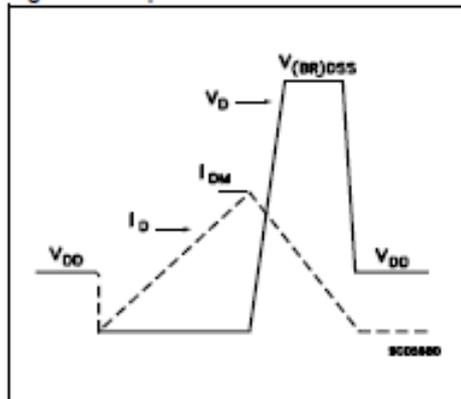


Fig. 3: Switching Times Test Circuits For Resistive Load

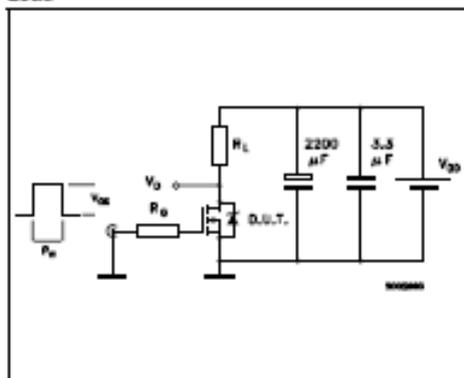


Fig. 4: Gate Charge test Circuit

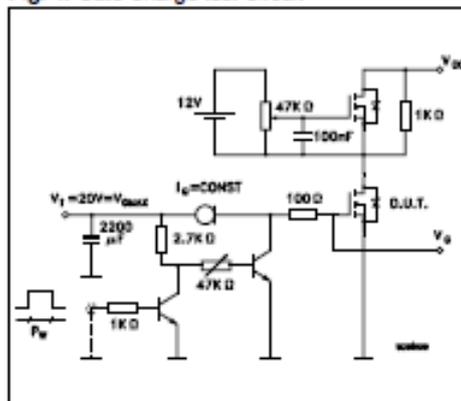
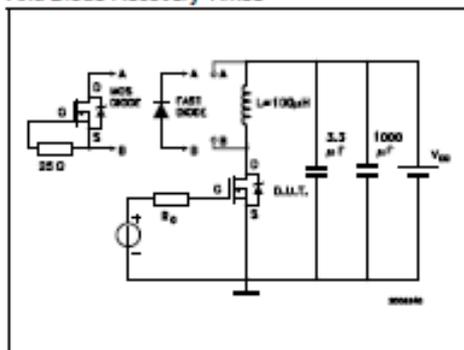
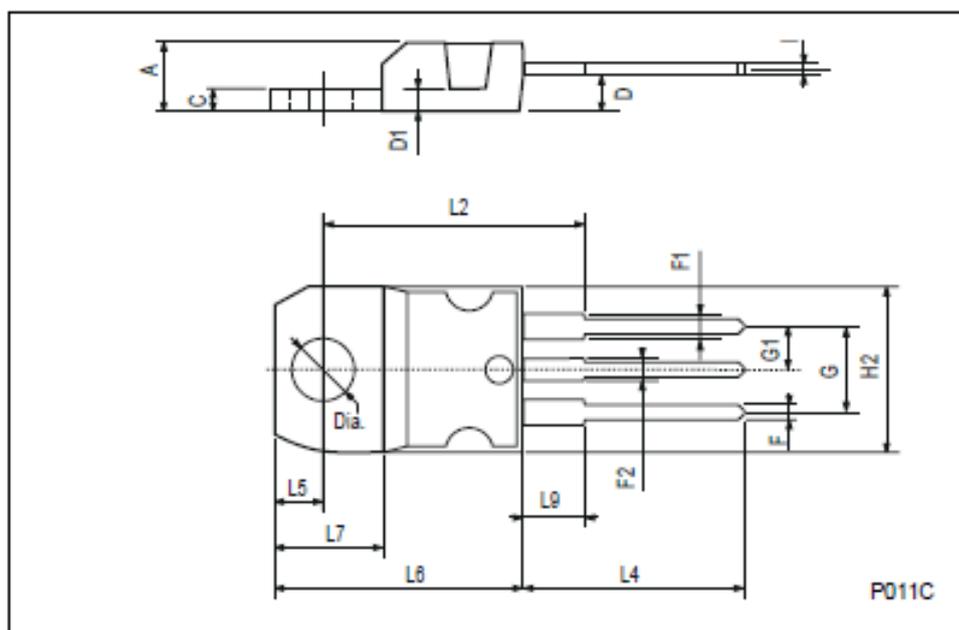


Fig. 5: Test Circuit For Inductive Load Switching And Diode Recovery Times



TO-220 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
C	1.23		1.32	0.048		0.051
D	2.40		2.72	0.094		0.107
D1		1.27			0.050	
E	0.49		0.70	0.019		0.027
F	0.61		0.88	0.024		0.034
F1	1.14		1.70	0.044		0.067
F2	1.14		1.70	0.044		0.067
G	4.95		5.15	0.194		0.203
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H2	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16.4			0.645	
L4	13.0		14.0	0.511		0.551
L5	2.65		2.95	0.104		0.116
L6	15.25		15.75	0.600		0.620
L7	6.2		6.6	0.244		0.260
L9	3.5		3.93	0.137		0.154
DIA.	3.75		3.85	0.147		0.151



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is registered trademark of STMicroelectronics
© 2002 STMicroelectronics - All Rights Reserved

All other names are the property of their respective owners.

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES
Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.
<http://www.st.com>

Anexo A3. Código do programa *Toolkit* para Arduino (National Instruments, 2014)

```

/*****
** LVFA_Firmware - Provides Functions For Interfacing With The Arduino Uno
**
** Written By: Sam Kristoff - National Instruments
** Written On: November 2010
** Last Updated: Dec 2011 - Kevin Fort - National Instruments
**
** This File May Be Modified And Re-Distributed Freely. Original File Content
** Written By Sam Kristoff And Available At www.ni.com/arduino.
**
/*****
** Define Constants
**
** Define directives providing meaningful names for constant values.
*****/

#define FIRMWARE_MAJOR 02
#define FIRMWARE_MINOR 00
#if defined(__AVR_ATmega1280__) || defined(__AVR_ATmega2560__)
#define DEFAULTBAUDRATE 9600 // Defines The Default Serial Baud Rate (This must match the
baud rate specifid in LabVIEW)
#else
#define DEFAULTBAUDRATE 115200
#endif
#define MODE_DEFAULT 0 // Defines Arduino Modes (Currently Not Used)
#define COMMANDLENGTH 15 // Defines The Number Of Bytes In A Single LabVIEW
Command (This must match the packet size specifid in LabVIEW)
#define STEPPER_SUPPORT 1 // Defines Whether The Stepper Library Is Included - Comment
This Line To Exclude Stepper Support

// Declare Variables
unsigned char currentCommand[COMMANDLENGTH]; // The Current Command For The Arduino
To Process
//Globals for continuous aquisition
unsigned char acqMode;
unsigned char contAcqPin;
float contAcqSpeed;
float acquisitionPeriod;
float iterationsFit;
int iterations;
float delayTime;

/*****
** syncLV
**
** Synchronizes with LabVIEW and sends info about the board and firmware (Unimplemented)
**
** Input: None
** Output: None
*****/
void syncLV();

/*****
** setMode
**
** Sets the mode of the Arduino (Reserved For Future Use)
**

```

```

** Input: Int - Mode
** Output: None
*****/
void setMode(int mode);

/*****
** checkForCommand
**
** Checks for new commands from LabVIEW and processes them if any exists.
**
** Input: None
** Output: 1 - Command received and processed
**         0 - No new command
*****/
int checkForCommand(void);

/*****
** processCommand
**
** Processes a given command
**
** Input: command of COMMANDLENGTH bytes
** Output: 1 - Command received and processed
**         0 - No new command
*****/
void processCommand(unsigned char command[]);

/*****
** writeDigitalPort
**
** Write values to DIO pins 0 - 13. Pins must first be configured as outputs.
**
** Input: Command containing digital port data
** Output: None
*****/
void writeDigitalPort(unsigned char command[]);

/*****
** analogReadPort
**
** Reads all 6 analog input ports, builds 8 byte packet, send via RS232.
**
** Input: None
** Output: None
*****/
void analogReadPort();

/*****
** sevenSegment_Config
**
** Configure digital I/O pins to use for seven segment display. Pins are stored in sevenSegmentPins
array.
**
** Input: Pins to use for seven segment LED [A, B, C, D, E, F, G, DP]
** Output: None
*****/
void sevenSegment_Config(unsigned char command[]);

/*****
** sevenSegment_Write

```

```

**
** Write values to sevenSegment display. Must first use sevenSegment_Configure
**
** Input: Eight values to write to seven segment display
** Output: None
***/
void sevenSegment_Write(unsigned char command[]);

/**
** spi_setClockDivider
**
** Set the SPI Clock Divisor
**
** Input: SPI Clock Divider 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128
** Output: None
***/
void spi_setClockDivider(unsigned char divider);

/**
** spi_sendReceive
**
** Sens / Receive SPI Data
**
** Input: Command Packet
** Output: None (This command sends one serial byte back to LV for each data byte.
***/
void spi_sendReceive(unsigned char command[]);

/**
** checksum_Compute
**
** Compute Packet Checksum
**
** Input: Command Packet
** Output: Char Checksum Value
***/
unsigned char checksum_Compute(unsigned char command[]);

/**
** checksum_Test
**
** Compute Packet Checksum And Test Against Included Checksum
**
** Input: Command Packet
** Output: 0 If Checksums Are Equal, Else 1
***/
int checksum_Test(unsigned char command[]);

/**
** AccelStepper_Write
**
** Parse command packet and write speed, direction, and number of steps to travel
**
** Input: Command Packet
** Output: None
***/
void AccelStepper_Write(unsigned char command[]);

/**
** SampleContinuously
**

```

```

** Returns several analog input points at once.
**
** Input: void
** Output: void
***/
void sampleContinuously(void);

/**
** finiteAcquisition
**
** Returns the number of samples specified at the rate specified.
**
** Input: pin to sampe on, speed to sample at, number of samples
** Output: void
***/
void finiteAcquisition(int analogPin, float acquisitionSpeed, int numberOfSamples );

/**
** lcd_print
**
** Prints Data to the LCD With The Given Base
**
** Input: Command Packet
** Output: None
***/
void lcd_print(unsigned char command[]);

```

Anexo A4. Datasheet 4n25 (Motorola, 1995)

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

 Order this document
 by 4N25/D


6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- IO Interfacing
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INPUT LED

Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/°C

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/°C

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	mW/°C
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_L	250	°C

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating.
For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

REV 5

© Motorola, Inc. 1995

4N25*
4N25A*
4N26*
 [CTR = 20% Min]
4N27
4N28
 [CTR = 10% Min]

*Motorola Preferred Devices

STYLE 1 PLASTIC

STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC

PIN 1. LED ANODE
 2. LED CATHODE
 3. N.C.
 4. EMITTER
 5. COLLECTOR
 6. BASE



4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)(1)

Characteristic	Symbol	Min	Typ(1)	Max	Unit
INPUT LED					
Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	V_F	—	1.15	1.5	Volts
		—	1.3	—	
		—	1.05	—	
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	—	100	μA
Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)	C_J	—	18	—	pF
OUTPUT TRANSISTOR					
Collector-Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	4N25,25A,26,27 4N28 I_{CEO}	—	1	50	nA
($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 100^\circ\text{C}$)	All Devices	—	1	100	μA
Collector-Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$)	I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}$)	$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts
Emitter-Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain ($I_C = 2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$)	h_{FE}	—	500	—	—
Collector-Emitter Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CE} = 0$)	C_{CE}	—	7	—	pF
Collector-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CB} = 0$)	C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{EB} = 0$)	C_{EB}	—	9	—	pF
COUPLED					
Output Collector Current ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$)	I_C (CTR)(2)	2 (20) 1 (10)	7 (70) 5 (50)	—	$\text{mA} (\%)$
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2\text{ mA}$, $I_F = 50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn-On Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$)(3)	t_{on}	—	2.8	—	μs
Turn-Off Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$)(3)	t_{off}	—	4.5	—	μs
Rise Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$)(3)	t_r	—	1.2	—	μs
Fall Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$)(3)	t_f	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$)(4)	V_{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance ($V = 500\text{ V}$)(4)	R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω
Isolation Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)(4)	C_{ISO}	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).

2. Current Transfer Ratio (CTR) = $I_C/I_F \times 100\%$.

3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

TYPICAL CHARACTERISTICS

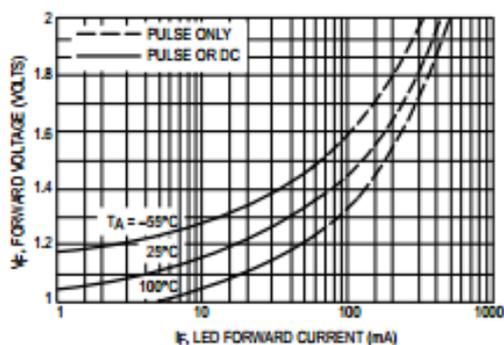


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

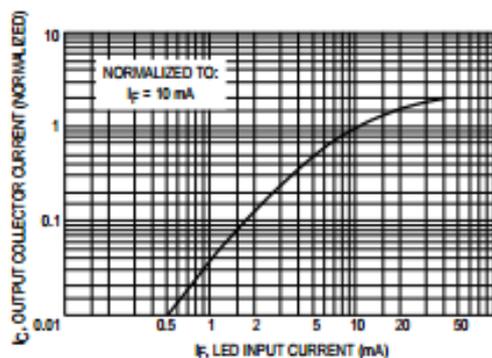


Figure 2. Output Current versus Input Current

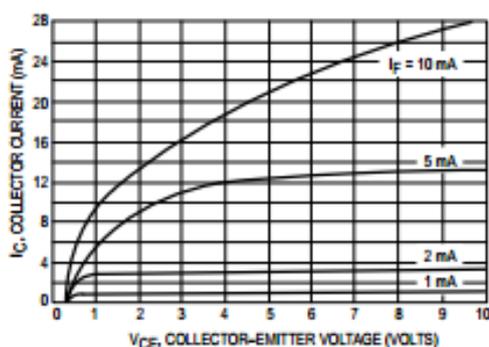


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

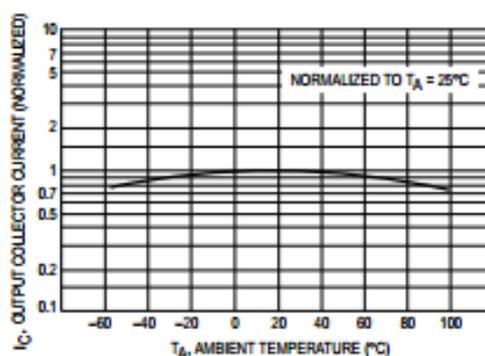


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

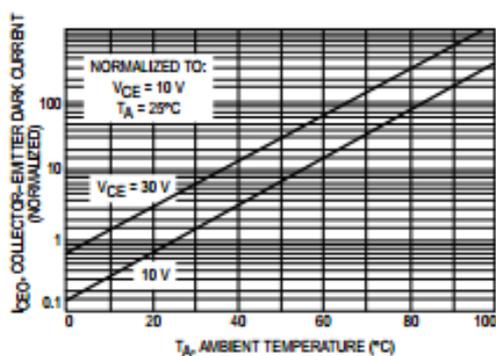


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

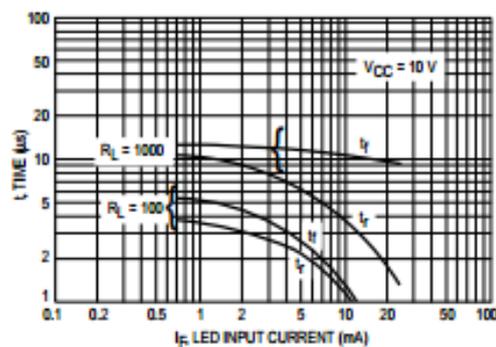


Figure 6. Rise and Fall Times (Typical Values)

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

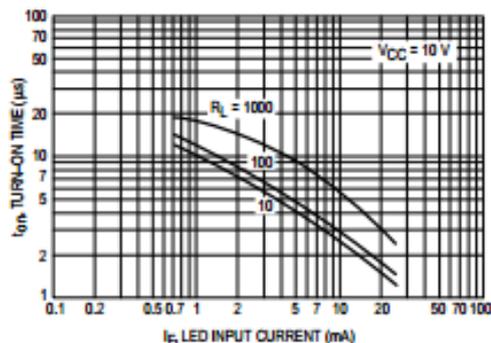


Figure 7. Turn-On Switching Times (Typical Values)

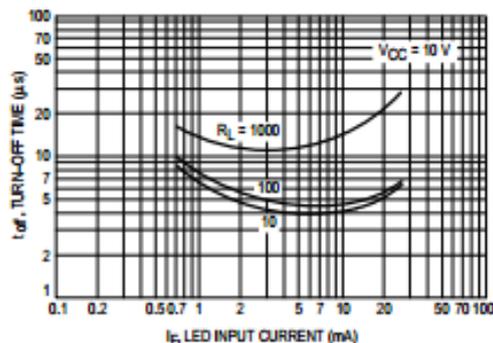


Figure 8. Turn-Off Switching Times (Typical Values)

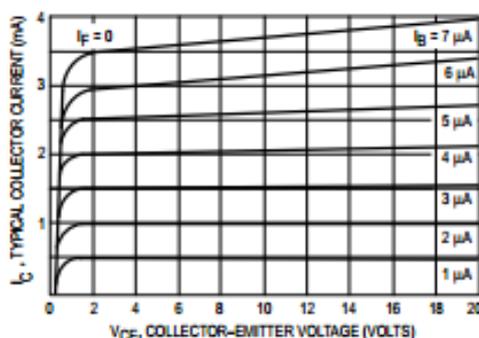


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

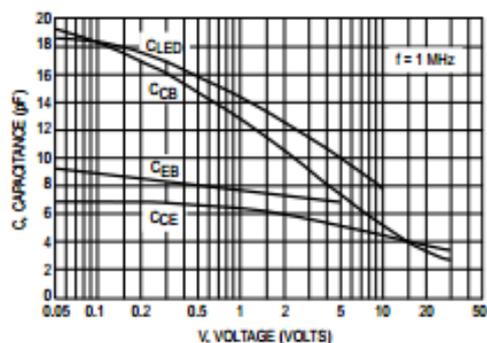


Figure 10. Capacitances versus Voltage

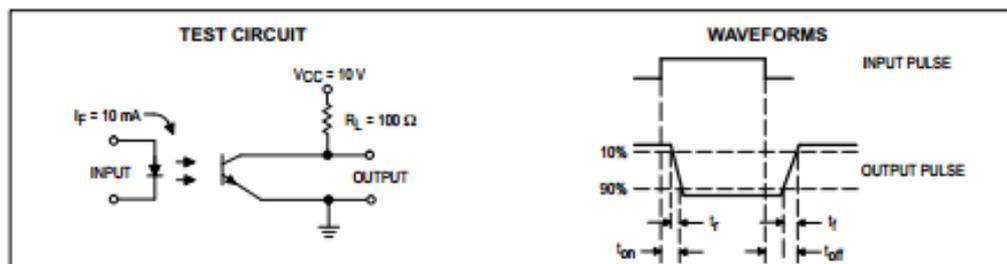
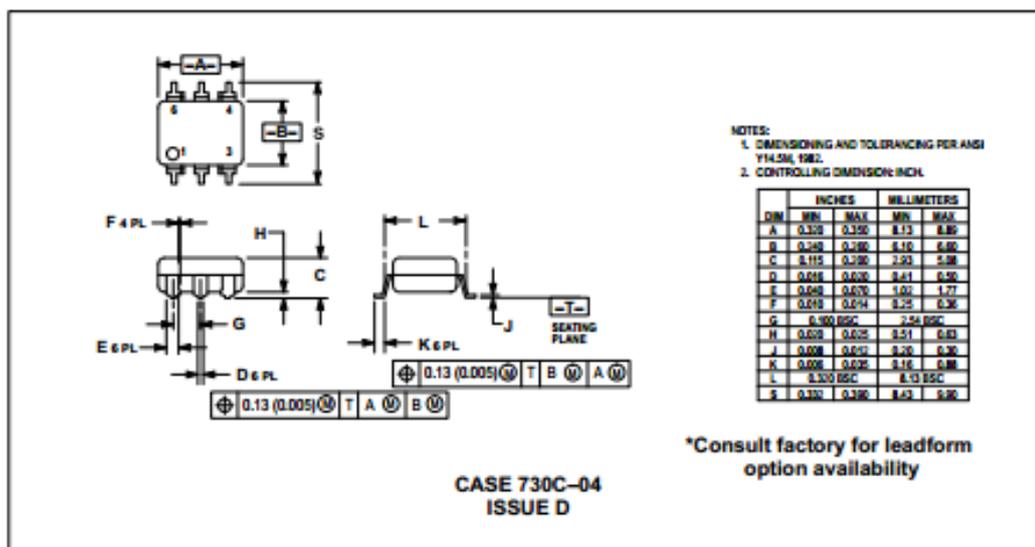
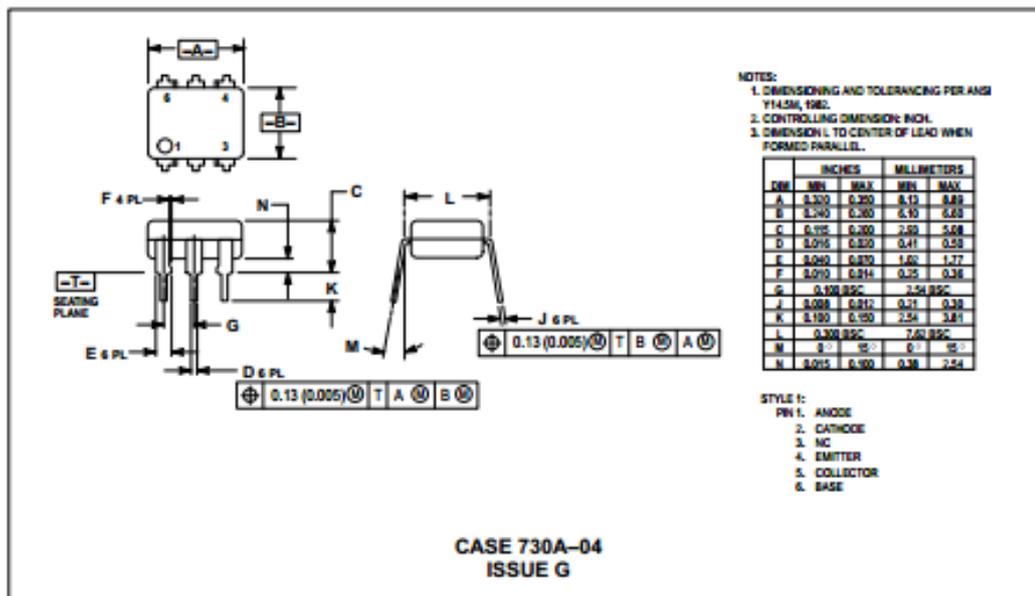


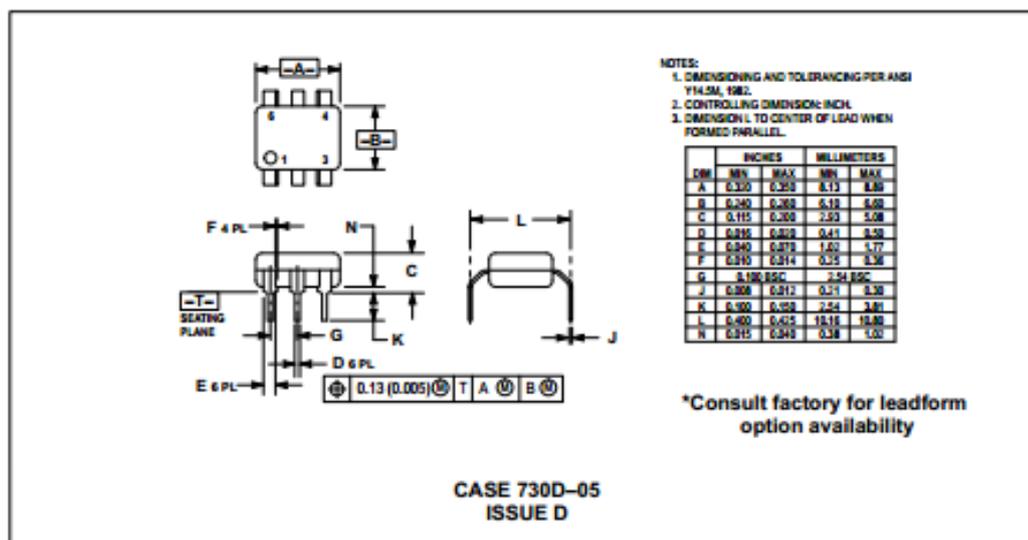
Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

PACKAGE DIMENSIONS



4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85068. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikazu Otsubi,
6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RmFAXD@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-8609
INTERNET: <http://Design-NET.com>

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26620288



MOTOROLA

0

4N25/D

