



CARLOS ANTONIO RUFINO

**BEBEDOURO REFRIGERADO TIPO NIPPLE
PARA CRIAÇÃO ANIMAL UTILIZANDO
EFEITO PELTIER**

LAVRAS - MG

2016

CARLOS ANTONIO RUFINO

**BEBEDOURO REFRIGERADO TIPO NIPPLE PARA CRIAÇÃO
ANIMAL UTILIZANDO EFEITO PELTIER**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Instrumentação, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Coorientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

**LAVRAS - MG
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Rufino, Carlos Antonio.

Bebedouro Refrigerado Tipo *Nipple* para Criação Animal
Utilizando Efeito Peltier / Carlos Antonio Rufino. – Lavras :
UFLA, 2016.

170 p. : il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Giovanni Francisco Rabelo.

Bibliografia.

1. Bebedouro. 2. Nipple. 3. Luva. 4. Célula. 5. Geração.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CARLOS ANTONIO RUFINO

**BEBEDOURO REFRIGERADO TIPO NIPPLE PARA CRIAÇÃO
ANIMAL UTILIZANDO EFEITO PELTIER**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Instrumentação, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 09 de maio de 2016.

Dr. Lourival Marin Mendes UFLA

Dr. Antônio Carlos Neri UFLA

Dr. Belisário Nina Huallpa UFLA

Dr. Adriano Geraldo IFMG

Dr. Giovanni Francisco Rabelo
Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Coorientador

**LAVRAS - MG
2016**

À minha esposa Gil e meus filhos Adriana, Juninho e André,
aos meus pais, Manoel e Maria,
pelo amor incondicional.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, aos bons espíritos pelo exemplo e proteção.

À minha esposa Gilvaneide e meus filhos Adriana, Junior e André, aos meus pais Manoel e Maria, pelo amor, carinho, amizade, confiança, por acreditarem na realização de mais este sonho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por meio do Departamento de Engenharia (DEG).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Giovanni Francisco Rabelo, pela paciência, competência, companheirismo, amizade, dedicação e oportunidades de aprendizado.

À banca examinadora, composta pelos professores Dr. Antônio Carlos Neri, Dr. Adriano Geraldo, Dr. Belisário Nina Huallpa e o Dr. Lourival Marin Mendes pela participação, procedentes correções e sábias e oportunas sugestões que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

Aos amigos que conquistei nessa etapa de minha vida, estes nunca serão esquecidos.

A todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, prestaram auxílio e não foram citados neste trabalho; não por esquecimento; sem vocês nada teria sido possível.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de aprimoramento acadêmico.

Aos professores do Departamento de Engenharia, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela prontidão em ajudar, em especial ao Sr. Antônio, Técnico Administrativo e à Helen, secretária da Pós-graduação.

Aos colegas do curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelo convívio.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigado!

“Quanto maior a dificuldade, tanto maior é o mérito em superá-la.”

Henry Ward Beecher

RESUMO GERAL

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento e avaliação de três sistemas utilizando os efeitos termoelétricos, sendo que dois deles utilizam como princípio de funcionamento o efeito *Peltier*, e o terceiro sistema utiliza o efeito *Seebeck*. Os dois primeiros tem como objetivo a refrigeração da água de bebida de animais, no caso, aves, mas utilizam concepção diferente, o primeiro sistema consiste em um bebedouro tipo *nipple* com refrigeração localizada, enquanto que o segundo sistema utiliza uma luva refrigerada por zonas de resfriamento distribuídas ao longo da tubulação principal de alimentação da água de bebida dos animais. Os dois primeiros trabalhos são intitulados respectivamente: "Bebedouro Refrigerado Tipo *Nipple* para Criação Animal Utilizando Efeito *Peltier*" e "Luva Refrigerada Empregada na Criação Animal Utilizando Efeito *Peltier*". O terceiro consiste de um sistema de conversão direta de energia térmica em energia elétrica, intitulado como "Sistema de Geração de Energia Elétrica a Partir de Células Fotovoltaicas". Para o sistema de resfriamento tipo *nipple* avaliou-se a média dos valores do desvio entre a temperatura interna da água refrigerada medida e o valor do *setpoint* uma variação de 0,4 °C. Para a Luva Refrigerada os resultados obtidos mostram que, mesmo sem isolamento no tubo de distribuição de água, a temperatura entre a primeira zona de medição e a quinta zona de medição apresentaram uma faixa de temperatura entre 18 e 23 °C, demonstrando que houve uma redução na temperatura média interna da água no tubo de distribuição de 3 °C, o que representa uma distância entre a luva de resfriamento e a quinta zona de medição de $\approx 1,5$ mts. O resultado obtido para o "Sistema de Geração de Energia Elétrica a partir de Células Termovoltáicas" permite; concluir que é viável a utilização das células de *Peltier* para geração de energia em baixa potência com rendimento médio em torno de 25%, demonstrando ser possível a conversão direta de energia térmica em elétrica.

Palavras-chave: Bebedouro. *Nipple*. Luva. Célula *Peltier*. Geração Energia.

GENERAL ABSTRACT

This paper presents the development and evaluation of three systems using the thermoelectric effects, and two of them use the principle operating the Peltier chosen, and the third system uses the Seebeck effect. The the first two, is aimed at cooling the animals drink water, If, birds, but using a different design, the first system consists of a nipple drinker with localized cooling, whereas the second system uses a chilled sleeve for cooling zones distributed along the main pipe feeding the animals drinking water. The first two works are titled respectively: "Trough Cooled Type Nipple for Animal Creation Using Peltier Effect" and "Refrigerated glove used in Livestock Using Peltier Effect". The third consists of a direct conversion system of thermal energy into electrical energy, titled "Electric Power Generation System from photovoltaic cells". To Cooling system type nipple evaluated the average of the deviation values between the internal temperature of the cooling water measured and the setpoint variation 0.4°C . Refrigerated glove to the results obtained show that the same without insulation in the water supply pipe, the temperature of the first zone measurement and the fifth measurement zone had a temperature range between 18 and 23°C , showing that a reduction in the average internal temperature of water at 3°C manifold, which is a distance between the cooling sleeve and fifth measuring zone ≈ 1.5 m. The result obtained for the "Generation System Electricity from thermovoltaic Cells" allow us to conclude that the use of Peltier cells for power generation at low power with average yield around 25% is feasible, demonstrating the feasibility of the direct conversion of thermal energy into electricity.

Keywords: Drinking Fountain. Nipple. Glove. Cell Peltier. Power. Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mecanismos de perda e ganho de calor das aves.	28
Figura 2	Distribuição dos líquidos do corpo em % do peso corporal das aves.	32
Figura 3	Diagrama de banda de um semiconductor.	46
Figura 4	Diagrama de níveis de energia de semiconductor.	49
Figura 5	Representação gráfica da energia de Fermi em função da temperatura para os semicondutores extrínsecos.	52
Figura 6	Efeito <i>Seebeck</i>	54
Figura 7	Efeito <i>Peltier</i>	56
Figura 8	Efeito <i>Peltier</i> : A corrente passando através das junções conduz o calor da face fria para a face quente.	57
Figura 9	Junção de dois materiais diferentes circulando uma corrente elétrica.	59
Figura 10	Representação gráfica de como o efeito <i>Seebeck</i> , resistividade e condutividade térmica dependem da concentração de portadores carregados extrínsecos.	61
Figura 11	Figura de mérito para alguns materiais termoeletricos tipo P.	62
Figura 12	Diagrama de energia para um circuito contendo um semiconductor tipo P entre dois contatos de metais.	63
Figura 13	Célula de <i>Peltier</i> (Pastilha de <i>Peltier</i>).	69
Figura 14	Pastilha de <i>Peltier</i> (transferência de calor).	69
Figura 15	Módulos <i>Peltier</i> comerciais único estágio.	70
Figura 16	Módulos <i>Peltier</i> comerciais múltiplos estágios.	70
Figura 17	Módulos ZigBee.	72
Figura 18	Topologias ZigBee.	74
Figura 19	Sistema de controle climático genérico.	81
Figura 20	<i>Layout</i> projeto bebedouro refrigerado utilizando célula de <i>Peltier</i>	101
Figura 21	Sistema de controle genérico em malha fechada.	102
Figura 22	Fluxograma das instruções de programa do microcontrolador simplificado.	103
Figura 23	Fluxograma dimensionamento do sistema de refrigeração.	105
Figura 24	Controle PID.	107
Figura 25	Diagrama de blocos da programação PID digital executada no microcontrolador.	108
Figura 26	Diagrama em blocos de um controle em malha aberta.	109

Figura 27	Resposta do processo em malha aberta com aplicação do método <i>Ziegler-Nichols</i> de sintonia do controlador PID.	109
Figura 28	Vista em 3D projeto mecânico "bebedouro refrigerado <i>peltier</i> controlado tipo <i>nipple</i> de baixo custo empregado na criação de animal".	111
Figura 29	Vista explodida em 3D projeto mecânico do "bebedouro refrigerado <i>peltier</i> controlado tipo <i>nipple</i> de baixo custo empregado na criação de animal".	112
Figura 30	Curva de resposta da temperatura da água resfriada em malha aberta.	112
Figura 31	Tensão de excitação na célula de <i>peltier</i> em malha aberta.	113
Figura 32	Curva de temperatura ambiente e controlada no bebedouro tipo <i>nipple</i>	115
Figura 33	Diagrama de caixa das temperaturas ambiente e da temperatura controlada da água no interior do bebedouro tipo <i>nipple</i>	116
Figura 34	Desvio da temperatura em relação ao <i>setpoint</i>	116
Figura 35	Diagrama de caixa do desvio da temperatura da água no interior do bebedouro tipo <i>nipple</i> e o <i>setpoint</i>	117
Figura 36	Montagem do experimento e disposição dos componentes.	127
Figura 37	Montagem do experimento e detalhamento dos componentes principais da luva refrigerada.	127
Figura 38	Encapsulamento e a pinagem do sensor de temperatura LM35DT.	128
Figura 39	Vista explodida 3D montagem mecânica da luva refrigerada.	129
Figura 40	Gráfico da evolução das temperaturas em função do tempo.	130
Figura 41	Gráfico da evolução desvio da temperatura interna da luva refrigerada e o valor constante de 10°C.	131
Figura 42	Gráfico da evolução desvio da temperatura interna da luva refrigerada e da temperatura ambiente.	132
Figura 43	Gráfico boxplot dos valores de temperatura interna da luva refrigerada e da temperatura ambiente.	133
Figura 44	Gráfico boxplot dos valores de temperatura interna da luva refrigerada, zonas de medição e da temperatura ambiente.	133
Figura 45	Forma de montagem Dissipadores.	142
Figura 46	Encapsulamento e a pinagem do sensor de temperatura LM35.	143
Figura 47	Disposição dos componentes do ensaio da célula termovoltáica.	144
Figura 48	Diagrama de blocos sistema coletor de dados.	145
Figura 49	Fluxograma simplificado do <i>software</i> embarcado no microcontrolador.	146
Figura 50	Vista 3D da montagem célula fotovoltaica.	147

Figura 51	Vista explodida da célula termovoltáica.	148
Figura 52	Gráfico da curva de temperatura da face quente.	149
Figura 53	Gráfico da curva de temperatura da face fria.	150
Figura 54	Gráfico da curva da tensão gerada na saída célula de <i>Peltier</i>	150
Figura 55	Gráfico do gradiente de temperatura gerado pela face quente e fria em função do tempo.	151
Figura 56	Gráfico do gradiente de temperatura gerado pela face quente e fria em função da tensão gerada na saída da célula de <i>Peltier</i>	152
Figura 57	Tabela de estimativa da quantidade de célula <i>Peltier</i> x tensão ge- rada na saída para o modelo TEC1 - 12726.	153
Figura 58	Diagrama de interligação elétrica de uma matriz de célula termo- voltaica para geração de um potencial de ≈ 12 V e uma corrente ≈ 1 A de saída.	154
Figura 59	(a) Vista 3D montagem mecânica da luva refrigerada.	160
Figura 60	(b) Vista 3D montagem mecânica da luva refrigerada.	160
Figura 61	Vista 3D montagem mecânica da bebedouro tipo <i>nipple</i> refrigerado.	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Necessidade térmica de acordo com a semana de criação das aves.	30
Tabela 2	Metabolismo diário de água em frangos de corte.	33
Tabela 3	Níveis máximos de sódios e pH da água para consumo animal. .	36
Tabela 4	Produção de água metabólica de carboidratos, proteínas e gorduras.	36
Tabela 5	Consumo estimado de água por ave mL/dia em função da temperatura ambiente.	38
Tabela 6	Efeito da restrição de água no consumo de ração por frangos de corte.	39
Tabela 7	Consumo de água por aves (mL/dia) de acordo com a idade e espécie.	40
Tabela 8	Energia de ionização de doadores e aceitadores.	50
Tabela 9	Correlações de ajuste de estabilidade para o modelo em 1 ^a ordem com tempo morto.	110

LISTA DE ABREVEATURAS

A/D	Conversor Analógico Digital.
ANX	Entrada Analógica do Microcontrolador Onde "X"Varia 0 a 3.
Bit	<i>Binary Digit.</i>
CAD	<i>Computer Aided Design.</i>
CI	Circuito Integrado.
CLP	Controlador Lógico Programável.
CPU	<i>Central Process Unit.</i>
CTS	<i>Clear To Send.</i>
DB25	Conector Padrão de Vinte e Cinco Pinos.
DB9	Conector Padrão de Nove Pinos.
DCD	<i>Data Carrier Detected.</i>
DCE	<i>Data Communications Equipment.</i>
DSP	<i>Digital Signal Processing.</i>
DSR	<i>Data Set Ready.</i>
DSRS	<i>Data Signal Rate Selector.</i>
DTE	<i>Data Terminal Equipment.</i>
DTR	<i>Data Terminal Ready.</i>
EIA	<i>Electronic Industries Alliance.</i>
EM	Energia Metabolizável.
fem	Força Eletromotriz.
FFD	<i>Full Function Device</i> (Dispositivo de Funções Completas).
FG	<i>Frame Ground.</i>
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array.</i>
GHz	Giga Hertz.
ID's	Identificador.
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos.
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical.</i>
kcal	Quilocalorias.
LED	<i>Light Emitting Diode.</i>
MHz	Mega Hertz.
NC	<i>No Connection.</i>
NWK	Network (Nível de Roteamento).
PAN	<i>Personal Area Network.</i>
PC	<i>Personal Computer.</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico.
PIC	<i>Peripheral Interface Controller.</i>
PID	Proporcional, Integral e Derivativo.

ppm Partes por Milhão.
PVC Policloreto de Vinil.
PWM Modulação por Largura de Pulso.
RCK *Receiver (external) Clock Input.*
RF Rádio Frequência.
RFD *Reduced Function Device* (Dispositivo de Funções Reduzidas).
RI *Ring Indicator.*
RS232 Padrão de Comunicação Serial.
RTS *Read To Send.*
RxD *Received Data.*
SCTS *Secondary Clear To Send.*
SDCD *Secondary Data Carrier Detected.*
SG *Signal Ground.*
SRTS *Secondary Ready To Send.*
SRxD *Secondary Received Data.*
STxD *Secondary Transmitted Data.*
Tbs Temperatura de Bulbo Seco.
TF Temperatura de Junta Fria.
Tng Temperatura de Globo Negro.
TQ Temperatura de Junta Quente.
TxD *Transmitted Data.*
USB *Universal Serial Bus.*
V Unidade de Potencial Elétrico (Volts).
ZC *ZigBee Coordinator.*
ZED *ZigBee End Device.*
ZigBee Padrão de Comunicação sem Fios.
ZR *ZigBee Router.*

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	19
1	JUSTIFICATIVA	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	O ambiente tropical	25
2.2	Conforto térmico para avicultura	26
2.3	Mecanismo de perda de calor das aves	27
2.4	A água como nutriente	31
2.5	Fontes de água	35
2.5.1	Água de bebida	35
2.5.2	Água metabólica	35
2.5.3	Água coloidal	36
2.6	Fatores que afetam a ingestão de água	37
2.6.1	Espécie animal	39
2.6.2	Idade animal	39
2.6.3	Necessidade de água	39
2.7	Efeitos causados pela restrição de água no consumo de ração . .	40
2.8	Índice de ambiente térmico	41
2.9	Índice de temperatura e umidade (ITU)	41
2.10	Índice de temperatura do globo e umidade (ITGU)	43

2.11	Tipos de bebedouros utilizados na avicultura	43
2.12	Semicondutores e seus efeitos termoelétricos	45
2.12.1	Semicondutores	45
2.13	Efeitos termoelétricos	52
2.13.1	Efeito Joule	53
2.13.2	Efeito <i>Seebeck</i>	53
2.13.3	Efeito <i>Peltier</i>	55
2.14	Crítérios para seleção dos materiais dos pares termoelétricos . .	58
2.15	Descrição dos efeitos termoelétricos de estado sólido	63
2.16	Módulos <i>Peltier</i>	68
2.17	Protocolo <i>ZigBee</i>	70
2.17.1	Topologias <i>ZigBee</i>	72
2.17.2	Roteamento em uma rede <i>ZigBee</i>	74
2.17.3	Início de uma rede <i>ZigBee</i>	75
2.18	Sistemas automatizados para controle climático e seus periféricos	76
2.19	Sensores	77
2.19.1	Sensores de temperatura	77
2.19.2	Sensor de umidade	78
2.20	Microcontroladores PIC	79

2.21	Arquitetura do sistema de controle e automação	80
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	83
	SEGUNDA PARTE	93
	ARTIGO 1	93
1	INTRODUÇÃO	96
2	MATERIAL E MÉTODOS	99
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	111
4	CONCLUSÕES	118
	REFERÊNCIAS	119
	ARTIGO 2	121
1	INTRODUÇÃO	123
2	MATERIAL E MÉTODOS	126
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	130
4	CONCLUSÕES	134
	REFERÊNCIAS	135
	ARTIGO 3	136
1	INTRODUÇÃO	138
2	MATERIAL E MÉTODOS	141
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	149
4	CONCLUSÕES	155
	REFERÊNCIAS	156
	ANEXOS	157

INTRODUÇÃO GERAL

O setor de avicultura representa uma importância econômica expressiva no mundo. Dados recentes revelam seu impacto na produção de carne e ovos de aves. Segundo dados da União Brasileira de Avicultura (UBA, 2014), a carne de frango é a segunda de maior importância econômica, com uma produção estimada total de aproximadamente 111,8 milhões de toneladas (35,08%), tendo como principal produtor os Estados Unidos com (20,56%). A produção de carne de frango fica atrás apenas da carne suína com 119,4 milhões de toneladas.

Quanto ao seguimento de ovos, segundo a FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2013), a produção mundial em 2011 ficou em torno de 1,220 trilhão de unidades anuais, espalhando-se por todos os continentes do planeta, sendo que os principais países produtores de ovos (unidades) são: China (482,974 bilhões), EUA (91,855 bilhões), Índia (63,500 bilhões), México (47,623), Japão (41,900 bilhões), Rússia (40,788 bilhões) e Brasil (40,731 bilhões). Outro fator relevante a ser considerado na cadeia produtiva de aves e ovos é a concentração da produção destes em regiões localizadas na faixa classificada como tropical do planeta devido as melhores condições ambientais para o desenvolvimento de animais e plantas. Assim, as elevadas temperaturas encontradas em diferentes regiões, em particular na região nordeste do Brasil, propiciam muitas vezes modificações nas práticas de manejo que devem ser adotadas pelas granjas a fim de atingirem o máximo de desempenho animal.

Sabe-se que as aves domésticas são animais homeotérmicos e a influência das condições de temperatura e umidade ambiente comprometem diretamente a eficiência e desempenho do seu sistema termorregulatório. Aves submetidas ao estresse térmico tentam compensar sua temperatura por diversas formas, sendo a

alcalose respiratória uma das mais importantes por estar ligada ao aumento na taxa respiratória, resultando em perdas expressivas de dióxido de carbono (CO_2), comprometendo a qualidade da casca do ovo, pois o dióxido de carbono (CO_2), como componente importante, participa diretamente do processo de fixação do cálcio na casca do ovo. A água pode ser considerada como sendo um dos principais nutrientes requerido em maior quantidade pelas aves, se consumida com temperaturas ditas elevadas, ou seja, fora da faixa aceitável, compromete diretamente seu sistema termorregulatório, prejudicando seu desempenho fisiológico. Quando uma ave tem a sua disposição água de bebida com temperatura elevada, há redução na ingestão deste nutriente, comprometendo diretamente o consumo de ração, e, conseqüentemente, seu desempenho produtivo fisiológico. Outro fator a ser considerado é a qualidade da água de bebida que é fator fundamental que contribui para garantir bons índices zootécnicos, evitando-se com isto promover a disseminação de enfermidades. A escolha do tipo de bebedouro se torna importante quando se busca maior eficiência produtiva, e nesse caso, um dos tipos de bebedouro que se destaca na indústria de equipamentos avícolas é tipo chupeta (*Nipple*). No presente trabalho propõem-se o estudo e desenvolvimento de três sistemas utilizando células de *Peltier*, porém com objetivos diferentes, sendo que no primeiro, aborda o projeto de um bebedouro que integra um sistema de refrigeração da água de bebida animal com temperatura controlada, utilizando um sistema de bebedouro tipo *nipple* e o resfriamento feito por células de efeito *Peltier*, que se destaca como um sistema de refrigeração localizado. O segundo sistema utiliza uma luva de resfriamento, utilizando efeito *Peltier* que pode ser adaptada diretamente ao longo da tubulação que distribui água de bebida para aves em granjas de criação intensiva, neste caso o sistema por zonas de refrigeração. Ambos os sistemas têm como objetivo a redução das altas temperaturas da água de bebida provocadas por ambiente

de criação de aves em dias de verão extremos. O terceiro sistema propõem o projeto de uma célula termovoltáica composta por células de *Peltier*, utiliza-se como princípio de funcionamento o efeito *Seebeck* para a conversão de energia direta, ou seja, energia térmica em energia elétrica que pode ser armazenada em baterias ou consumida diretamente da fonte de geração.

1 JUSTIFICATIVA

A água é o principal alimento fornecido às aves e corresponde a dois terços do peso de um ovo e a metade do peso corporal do animal. Participa de diversos processos vitais como digestão, absorção e circulação de nutrientes, metabolismo intermediário, respiração, temperatura corporal, excreção de resíduos, sistema nervoso, transporte de hormônios, visão e audição. A ave sem acesso a água, até mesmo por poucas horas, especialmente em ambientes quentes, paralisa o crescimento e pode apresentar maior susceptibilidade às doenças (NILIPOUR; BUTCHER, 1998).

No Brasil, a avicultura de postura vem se expandindo ao longo dos anos, ocupando o sétimo lugar na produção mundial de ovos (PARAGUASSU, 2013). Segundo o relatório anual da Associação Brasileira de Produção Animal (ABPA, 2015) a produção total brasileira de ovos em 2014 alcançou ≈ 37.2 bilhões de unidades, sendo que deste total foram exportadas 12,21 mil toneladas de ovos (1% do total produzido), onde 89,49% foram ovos in natura e 10,51% ovos industrializados.

Quanto a importância nutricional o ovo é um dos alimentos mais completos da dieta humana, apresenta uma composição rica em vitaminas, minerais, ácidos graxos e proteínas de excelente valor biológico (RÊGO et al., 2012). O ovo

inteiro ou a clara e gema representam um ingrediente essencial em muitos produtos alimentares ao combinar propriedades nutricionais e funcionais. Além disso, contém substâncias promotoras de saúde e preventiva de doença.

No Brasil, embora o consumo per capita de ovos encontra-se abaixo da média consumida nos Estados Unidos, México e Colômbia, o ovo faz parte da dieta alimentar dos brasileiros, pois apresenta preços acessíveis e já faz parte do hábito alimentar. Segundo a União Brasileira de Avicultores (UBA) o ovo está presente na dieta alimentar de 99% das famílias brasileiras (UBA, 2012).

A maior parte dos ovos comercializados no Brasil é produzida com alta tecnologia por galinhas poedeiras comerciais, híbridas, de alto potencial genético criadas em gaiolas, com elevada eficiência de produção de ovos. Sendo que as maiores empresas de produção de ovos no mundo estão nos Estados Unidos da América com 102 milhões de poedeiras alojadas e México com mais de 41 milhões, seguido pela Ucrânia com 22 milhões de aves alojadas e em seguida Brasil com 18 milhões (WORLD POULTRY, 2012).

Por outro lado, a cadeia produtiva de frango de corte ocupa posição de destaque na economia brasileira e mundial. Esta cadeia produtiva tem apresentado um grande dinamismo desde que surgiu, passando por importantes mudanças nas formas de produção, industrialização, comercialização e consumo no mundo inteiro. Sua competitividade é expressa por ganhos de produtividade relevantes nos últimos anos, o que resultou em queda progressiva dos custos de produção e, conseqüentemente, no preço da carne de frango comparativamente as outras carnes. Por isso, a carne de frango é atualmente uma das mais produzidas e consumidas no mundo (GARCIA, 2004).

A produção de carne de frango de corte brasileira pode ser considerada uma das mais importantes do mundo. A oferta de frango brasileira tem acom-

panhando o crescimento da demanda interna e externa decorrente do aumento da competitividade e produtividades, mas também pelo aumento no nível de urbanização e renda da população, da diversificação das dietas e da mudança de hábitos alimentares. A avicultura brasileira ocupa a terceira posição na produção mundial. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne de frango, produzindo um total de 12,6 milhões de toneladas em 2014, ficando atrás apenas dos EUA com uma produção de 17,2 milhões de toneladas e da China com uma produção de 13 milhões de toneladas. E, desde 2010, ocupa a liderança mundial na exportação de carne de frango (ABPA, 2015).

Para os produtores, a qualidade do ovo está relacionada com o peso e aparência da casca, tais como sujeira, defeito, trincas e manchas de sangue, para os consumidores prazo de validade e características sensoriais como, por exemplo, a cor da gema e casca. Já para os processadores, qualidade significa facilidade de remoção da casca, cor da gema e propriedades funcionais (ALLEONI; ANTUNES, 2001).

Com as mudanças genéticas das atuais linhagens de poedeiras, busca-se melhor eficiência na produção de ovos, em termos produtivos e econômicos. Porém, problemas relacionados à qualidade da casca representam importante perda econômica na fase de produção, visto que milhões de ovos deixam de ser comercializados ou têm seus preços reduzidos em função de problemas na casca e representam a maior percentagem de perdas de ovos (FASSANI et al., 2000; ROBERTS, 2004).

A resistência da casca é uma das características mais desejadas pelo produtor. Estima-se que 12% dos ovos produzidos não são coletados ou se quebram.

Os problemas de casca podem ser quantificados, sendo que desses 12% podem ser fracionados em, 6% de perdas na granja, 1,16% de perdas no transporte, 4,0% de perdas durante o processamento e 0,84% de perdas relativa a ovos perdidos que não chegam a ser contabilizados.

A água é o nutriente de menor custo. Pesquisas tem mostrado que a temperatura da água de bebida tem relação direta com o desempenho das aves, seja no quesito desempenho fisiológico ou na qualidade do ovo. A exigência do controle da temperatura da água para galinhas poedeiras e frangos de corte ainda não está bem definida devido aos poucos trabalhos e controvérsias nos resultados, portanto mais estudos devem ser realizados nesta área.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O ambiente tropical

O extenso território brasileiro é caracterizado pela diversidade de relevos e pela dinâmica das correntes e massas de ar, que favorecem uma grande diversidade de climas entre regiões e até mesmo diferenças dentro de regiões.

O Brasil possui mais de 60% de seu território situado entre a faixa denominada como tropical, ou seja, entre os paralelos de 23,5° de latitude norte (trópico de câncer) e sul (trópico de capricórnio), onde a temperatura do ar é predominantemente alta, em face da elevada radiação solar incidente (SILVA, 2000). Segundo Pereira (2005), para esta faixa a temperatura média é de 20°C, sendo na maior parte do ano superior a 28°C e para algumas regiões atingindo, muitas vezes, valores entre 35°C e 38°C.

Pereira (2005) afirma também, que próximo a linha do equador, a temperatura é mais alta e mais estável ao longo do ano, diferentemente do que ocorre nas regiões mais ao sul onde as temperaturas são menores e instáveis.

Segundo Ahrens (2005), o clima de certa região representa o acúmulo de eventos diários e sazonais do tempo. Contudo, o conceito de clima é bem mais abrangente, pois ainda inclui valores extremos do tempo, as ondas de calor no verão e períodos de frio no inverno. De acordo com Pereira (2005), o clima é o fator ambiental que mais influencia o bem estar e a produtividade animal. Os índices climáticos causam efeitos diretos e indiretos nos animais, que refletem no desempenho produtivo.

Em climas tropicais, o fator principal de adaptação dos animais para a produção têm sido as altas temperaturas associadas a altos valores da umidade relativa do ar, que ocorrem em certas regiões do território brasileiro, o que reduz

a produtividade de algumas espécies estabelecidas, quando comparados aos níveis de produção em climas temperados (UBA, 2010). Dessa forma, de todos os fatores que afetam o ambiente, o clima é, sem dúvida, o mais importante, sendo que a eficiência produtiva e reprodutiva de qualquer animal se relaciona com estímulos aos ambientes onde vivem. Entretanto, existe para cada espécie uma faixa de condições ambientais, denominada zona de conforto térmico, na qual o animal apresenta os melhores resultados com menor gasto energético e mínimo esforço do mecanismo termorregulatório, possibilitando melhor conversão alimentar, ganho de peso mais acelerado e redução da mortalidade (CURTIS, 1983).

2.2 Conforto térmico para avicultura

A temperatura do ambiente é fator de influência na qualidade e no número de ovos produzidos pelas galinhas poedeiras. Segundo Curtis (1983), a eficiência da conversão alimentar também é afetada pela temperatura ambiente. Durante períodos de calor, a casca do ovo é mais fina. A explicação pode ser a concentração de cálcio no sangue que é de 1/4 a 1/3 menor a 32°C do que a 21°C. Já a cor da gema e o pH do ovo variam pouco durante as mudanças de estação. É no inverno que os ovos possuem maior qualidade e a produção se torna maior, ocorrendo uma máxima entre 13°C e 21°C (CURTIS, 1983).

De acordo com vários autores (CURTIS, 1983; ESMAY; DIXON, 1986; MILLIGAN; WINN, 1964; REECE et al., 1986; TIMMONS; GATES, 1988) a temperatura ambiental recomendada, bem tolerada pelas galinhas poedeiras, é em torno de 10°C a 25°C, dependendo da dieta utilizada. Contudo, a faixa de temperatura que proporciona conforto térmico exigido pelas aves, muda de acordo com a idade. Outro fator climático de grande relevância na criação de aves é a umidade relativa do ar, principalmente quando associada à temperatura.

A umidade relativa e a temperatura possuem papel importante na dissipação de calor pelos animais (NÃÃS, 2005; SARTORI; GONZALES; DAL, 2001).

Altos valores para temperatura e umidade são extremamente prejudiciais para a produção de frangos de corte, sendo que, no interior dos ambientes de criação, a umidade é função da temperatura ambiente, do fluxo de vapor d'água oriunda dos animais, das excretas e do sistema de ventilação (BAIÃO, 1995; ZANOLLA, 1998; ZULOVICH; DESHAZER, 1990).

Quando exposta a estresse térmico por elevadas temperaturas, a ave apresenta diminuição no consumo de ração e, em consequência, redução no ganho de peso e pior conversão alimentar (BUENO, 2004). De acordo com vários autores (BAETA; SOUZA, 1997; OLIVEIRA et al., 2006; TINOCO, 2004; YOUSEF, 1985), a umidade relativa considerada ideal para garantir conforto térmico aos animais e conseqüentemente o desempenho produtivo em aves de corte encontra-se na faixa de 50 a 70%. Conforme Moura (2001) e Moura et al. (2006), umidade relativa em níveis abaixo de 40% na fase de aquecimento pode aumentar a concentração de poeiras no interior das instalações zootécnicas, favorecendo dessa forma a dispersão de vírus e bactérias. Valores acima de 80%, associados a altas temperaturas, provocam aumento das excretas aquosas em aves com idade acima de 21 dias, e conseqüentemente o aumento de concentração de gases.

2.3 Mecanismo de perda de calor das aves

As aves são animais homeotermos, ou seja, mantêm sua temperatura corporal relativamente constante (aproximadamente 41°C), mas possuem como característica a ausência de glândulas sudoríparas, o que dificulta as trocas de calor com o ambiente.

Por isso, as aves conseguem trocar calor com o ambiente por quatro meios: convecção, condução, radiação e respiração, a fim de manter sua temperatura corporal em equilíbrio, como demonstrado na figura 1.

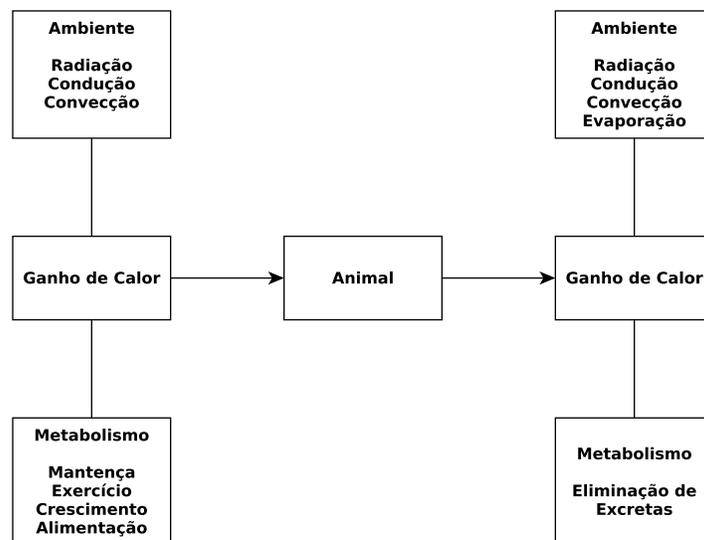


Figura 1 Mecanismos de perda e ganho de calor das aves.
Fonte: Adaptado de Fuquay (1981).

As perdas por condução, convecção e radiação são chamadas de trocas sensíveis, uma vez que para ocorrerem, elas dependem de um diferencial de temperatura entre a superfície corporal das aves e a temperatura ambiente. Consequentemente, quanto maior for essa diferença, mais eficientes serão essas trocas. Sendo assim, para aumentar as trocas de calor com o ambiente, as aves se agacham, mantêm as asas afastadas do corpo, a fim de aumentar ao máximo a área de superfície corporal, e também aumentam o fluxo de calor para as regiões periféricas do corpo que não possuem cobertura de penas (crista, barbela e pés) (MACARI; FURLAN, 2001).

Para os animais em geral, em um ambiente tropical, o mecanismo físico de termólise mais eficaz é o evaporativo (troca de calor latente), por não depender do diferencial de temperatura entre o organismo e o ar. Como nesses ambientes a temperatura do ar tende a ser próxima ou eventualmente superior à corporal, os mecanismos de condução e de convecção tornam-se ineficazes. Mas as trocas através da respiração ofegante é bastante onerosa metabolicamente, pois grande quantidade de energia tem de ser utilizada para que as aves se mantenham em equilíbrio (NASCIMENTO et al., 2009).

Portanto, as perdas por meios sensíveis são mais eficientes quanto maior for a diferença de temperatura entre as temperaturas do ar e da superfície do animal. Vale ressaltar que geralmente a temperatura superficial corpórea das aves encontra-se abaixo da temperatura ambiente. Mas as aves têm uma melhor capacidade responsiva ao frio, pois utilizamos maciçamente material genético de países de clima temperado. As penas também influem nas perdas de calor, sendo um bom isolante para o frio, e não tão eficientes em condições de estresse por calor.

A necessidade térmica e a resistência ao calor das aves variam de acordo com a semana de criação, conforme a tabela 1. As aves são mais tolerantes ao calor nas duas primeiras semanas de vida, e essa resistência diminui no decorrer das semanas, o que demonstra que frangos de corte são mais resistentes ao frio do que ao calor. Isso ocorre também pelo fato de o material genético adotado pelas grandes empresas brasileiras ser de origem estrangeira, de países em sua maioria com clima temperado, ou seja, o que faz com que a tolerância ao calor não seja uma característica explorada nos programas de melhoramento genético.

Quando as aves são expostas à altas temperaturas, observa-se que ocorre imediatamente um aumento do consumo de água, enquanto que a redução no consumo de alimentos leva algumas horas para iniciar após a temperatura ambiente

atingir níveis acima de sua temperatura de termoneutralidade. A sobrevivência das aves em ambientes termicamente estressantes depende em grande parte do consumo de grandes volumes de água, o que aumenta o período de sobrevivência das aves. Nesse caso, deve-se ressaltar a importância da localização das caixas d'água nas granjas onde, não muito raro, têm-se situações onde estas são diretamente expostas à radiação solar, sem nenhum tipo de proteção. Em altas temperaturas, a água chegará aos bebedouros com uma elevada temperatura também, o que fará com que ela perca grande parte de sua função refrigerante no processo de perda de calor evaporativo respiratório.

Tabela 1 Necessidade térmica de acordo com a semana de criação das aves.

Idade	Temperatura °C				Unidade Relativa (RH%)	
	Ótima		Crítica		Ótima	Crítica
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima		
1° Semana	35	33	42	30	60	<40 e >80
2° Semana	33	30	40	25		
3° Semana	30	27	38	23		
4° Semana	27	24	37	20		
5° Semana	25	21	36	17		
6° Semana	24	21	35	15		

Fonte: Macari e Furlan (2001).

Um dos efeitos do estresse térmico sobre as aves, que acarreta em perdas substanciais, é a redução do consumo de ração, pois o sistema fisiológico de regulação de temperatura das aves tenta diminuir a produção de calor interno devido ao consumo de energia da ração. Tanto a digestão quanto a absorção dos nutrientes geram energia, que liberada na forma de calor é o chamado incremento calórico.

Já baixas temperaturas podem melhorar o ganho de peso, mas à custa de elevada conversão alimentar. As aves passam a utilizar a gordura corporal como fonte de energia, pois esta produz um menor incremento calórico do que o meta-

bolismo de proteínas e carboidratos da ração. A redução no consumo de ração, e consequentemente, a redução na ingestão de nutrientes, afeta diretamente a produtividade do lote de aves, ocorrendo uma redução no ganho de peso das mesmas aves.

2.4 A água como nutriente

A água representa um componente essencial para a estrutura celular, além de ser o meio para as reações químicas do metabolismo animal. Dessa forma, a água pode ser considerada crítica na produção animal, sua privação é mais grave do que a falta de carboidratos, proteínas e outros nutrientes. O animal pode perder praticamente toda a gordura corporal, metade das suas proteínas orgânicas e, aproximadamente, 40% do seu peso corporal e mesmo assim manter-se vivo; contudo, uma perda de apenas 10% de água, provocará transtornos que o levará à morte (BERTECHINI, 2012). Do ponto de vista econômico, a água representa o nutriente de mais baixo custo, no entanto, fisiologicamente é essencial ao metabolismo orgânico. Segundo Beterchini (2012), a bioquímica nutricional da água é complexa e de difícil entendimento, não sendo simplesmente uma molécula de H_2O , uma grande parte das moléculas de água está interligada por pontes de hidrogênio, formando macromoléculas complexas. A facilidade e rapidez com que ocorre a dissociação dessa molécula ($H_2O \Leftrightarrow H^+ + OH^-$) é o que caracteriza a sua participação nas reações do metabolismo. A distribuição da água no corpo animal dar-se-á de forma heterogênea, de maneira a manter o equilíbrio dinâmico entre os compartimentos do organismo (Figura 2).

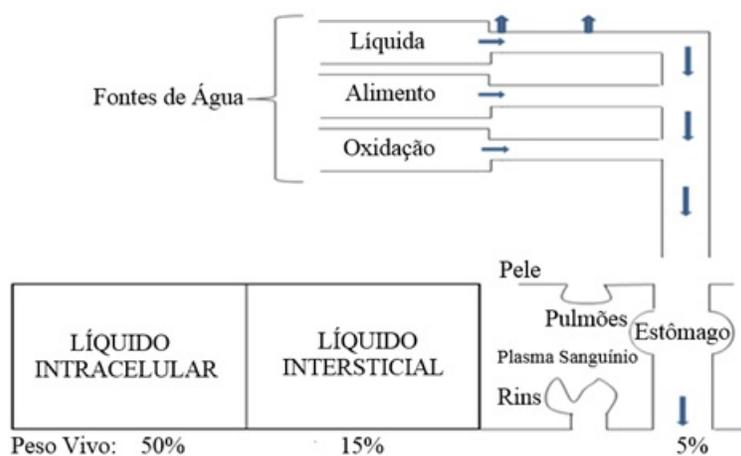


Figura 2 Distribuição dos líquidos do corpo em % do peso corporal das aves.
Fonte: Adaptado Bertechini (2012).

A água intracelular representa mais de 50% do peso vivo, enquanto que o conteúdo extracelular aproximadamente 20%. O funcionamento normal do organismo se dá em torno das perdas interrompidas de água que devem ser repostas constantemente pela água de bebida, principalmente. O conteúdo aquoso corpóreo é relativamente constante, portanto, a entrada de água (ingestão) somada à água metabólica deve equilibrar-se na saída.

Na Tabela 2 estão mostrados os dados do balanço de água dos frangos de corte. Na fase de crescimento, conforme observado, ocorre balanço positivo em razão da posição nos tecidos, nota-se que em aves jovens existe maior proporção de água corporal do que em adultas, a utilização da água metabólica é aumentada com a idade das aves (BERTECHINI, 2012).

Tabela 2 Metabolismo diário de água em frangos de corte.

Idade Semanas	Temp (°C)	RH (%)	Entrada (g)			Saída (g)		
			Bebida	Ração	Meta- bolismo	Cresci- mento	Excre- mento	Respi- ração
1	31	70	11,4	1,5	3,1	4,6	4,1	7,3
2	25	70	11,8	2,4	5,0	6,7	6,3	6,2
3	25	70	21,4	3,6	7,4	10,2	9,6	12,6
4	23	70	48,8	4,8	9,3	15,0	12,8	35,1
5	22	70	72,3	6,1	12,7	17,1	16,1	58,0
6	20	75	90,2	7,4	17,7	15,9	19,4	80,0
7	20	79	109,3	8,3	22,4	12,8	21,8	105,3
8	20	67	114,7	9,0	21,3	20,4	23,9	100,8

Fonte: Adaptado de Leeson e Summers (1997).

As excretas de frango de corte contêm de 60 a 70% de umidade, enquanto as das poedeiras apresentam ao redor de 80% de água. Esse maior valor para as poedeiras pode estar relacionado com a maior necessidade de perda de calor orgânico. As aves não possuem glândulas sudoríparas e gastam em torno de 575 calorias de energia na forma de calor para vaporizar 1 grama de água via respiração, já que a perda de água pela pele é restrita. Em poedeiras comerciais durante a formação de ovo consomem o dobro de água do que as que não estão em postura. O aumento da ingestão de água ocorre 12 horas antes da oviposição, sendo que esse alto consumo está associado ao processo de estresse metabólico de formação do ovo (BERTECHINI, 2012).

Antes da postura, as aves reduzem a ingestão de água, cessando o seu consumo duas horas antes e, logo após a oviposição, a ave atinge o pico de ingestão de água. Normalmente, as aves consomem água além das suas necessidades, poedeiras da raça Legohrn Brancas, por exemplo, podem ser restringidas 10 a 20% do consumo de água sem afetar o desempenho. No entanto, se a restrição exceder 20%, ocorrerá prejuízos no seu desempenho (PATRICK; SCHAIBLE, 1980).

Segundo Bertechini (2012), podem-se destacar as principais funções da água na nutrição das aves:

- a) digestão: processo hidrolítico;
- b) absorção dos nutrientes do trato digestório;
- c) translocação de todos compostos químicos no organismo;
- d) excreção de todos os resíduos do metabolismo orgânico;
- e) secreção de hormônios, enzimas e outras substâncias bioquímicas;
- f) termorregulação corporal: a água possui alto calor específico (=1) e com isto facilita o armazenamento de grandes quantidades de calor com um aumento limitado da sua temperatura do corpo;
- g) manutenção da pressão osmótica intra-intercelular, a pressão osmótica dos líquidos orgânicos é mantida de forma mais ou menos constante, pela ingestão ou eliminação de água ou eletrólitos;
- h) equilíbrio ácido básico: a homeostase orgânica (manutenção do equilíbrio acidobásico) está sujeita constantemente a estados de acidoses ou alcaloses. O processo oxidativo que ocorre no metabolismo resulta na produção de resíduos como o CO₂, ácidos láctico, SO₂ entre outros;
- i) facilita as reações enzimáticas que ocorrem no metabolismo intermediário, onde a maioria delas são simples subtração e adição de água.

A água ainda desempenha uma série de funções especiais no organismo tais como:

- a) fluído cérebro espinhal: protege o sistema nervoso, amortecendo choques;
- b) fluído sinovial: lubrificando as juntas;

- c) fluído auricular: transportando os sons;
- d) fluído intraocular: importante no processo da visão;
- e) fluído amniótico: proteção para o feto.

2.5 Fontes de água

Basicamente existem três tipos de fonte de água para os animais que são a água de bebida, água metabólica e água coloidal.

2.5.1 Água de bebida

É a principal fonte de água para os animais, devendo ser limpa e livre de contaminações, a Tabela 3 mostra os níveis máximos de partículas e pH da água para consumo de aves.

2.5.2 Água metabólica

Refere-se à formação da água no processo de oxidação do H₂ contido nas proteínas, carboidratos e nas gorduras ao nível de metabolismo orgânico. As gorduras produzem maior quantidade de água metabólica que os carboidratos e proteínas (Tabela 4). Contudo os carboidratos produzem maiores quantidades de água metabólica por Kcal de energia metabolizável (EM) produzida. Nesse caso, em condições de privação de água, seria indicada a ingestão de carboidratos como dietas refrescantes (BERTECHINI, 2012).

Tabela 3 Níveis máximos de sódios e pH da água para consumo animal.

Itens	Níveis máximos, ppm
Sólidos Totais	100,0
Ferro solúvel ou coloidal	50,0
pH	7,6
Nitratos	50,0
Sulfatos	250,0
Cloreto de Sódio	500,0
Bactérias E. Coli	Ausência
Arsênico	0,2
Cromo	1,0
Cobalto	1,0
Cobre	1,0
Flúor	2,0
Mercúrio	0,0
Vanádio	0,1
Zinco	25,0

Fonte: FAO (2010).

Tabela 4 Produção de água metabólica de carboidratos, proteínas e gorduras.

Nutrientes	H₂O Metabólica/100g	Valor Calórico	H₂O Metabólica/100g Kcal de (EM)
Carboidratos	60	400	15,0
Proteínas	42	400	10,5
Gorduras	100	900	11,1

Fonte: Beterchini (2012).

2.5.3 Água coloidal

Representa a água presa na composição dos alimentos. Os alimentos suculentos apresentam alto teor de água que contribui para o atendimento das necessidades diárias dos animais.

No entanto, os 10 a 12% de umidade contidos normalmente nos ingredientes de rações (milho, farelo de soja e etc.) estão na forma presa aos nutrientes, não sendo computada para as necessidades imediatas do animal (BERTECHINI, 2012).

2.6 Fatores que afetam a ingestão de água

O consumo de água é diretamente proporcional ao aumento da temperatura ambiente. Em clima quente, por exemplo, há necessidade de auxiliar a perda de calor desses animais, por meio de ambientes adequados e água fresca. No caso de aves, aproximadamente 50% da dissipação do calor corporal é feito pela respiração.

A água bebida representa para as aves uma importante maneira de consumo de calor corporal, frangos de corte e poedeiras comerciais quase dobram o consumo de água, quando a temperatura ambiente passa de 22 para 32°C (Tabela 5).

Normalmente, o aumento da temperatura ambiente leva a um incremento na respiração que eleva as necessidades de água. Por outro lado, em condições de temperaturas baixas, ocorre o catabolismo das proteínas orgânicas que aumenta as exigências do consumo de água, também (BERTECHINI, 2012).

No caso da umidade relativa é fator determinante para a escolha de uma zona de conforto dos animais, altos valores de temperatura e umidade relativa ambiente dificultam as trocas térmicas de calor animal e o ambiente, resultando em estresse calórico, levando a alto consumo de água. Por outro lado, a baixa umidade relativa do ar leva a maior taxa de respiração e maior consumo de água para a reposição das perdas.

A necessidade de água depende da função fisiológica, nas aves apresentam diferenças de consumo de água em função da finalidade fisiológica (Tabela 5) (BERTECHINI, 2012).

Tabela 5 Consumo estimado de água por ave mL/dia em função da temperatura ambiente.

Aves	Temperatura, °C	
	22	32
Poedeiras		
Sem Produção	140	190
40% de Produção	170	270
93% de Produção	180	290
Matrizes Pesadas		
3 semanas	60	100
9 semanas	120	180
18 semanas	170	290
40% de produção	180	300
80% de produção	220	340
Frangos de Corte		
1 semana	-	28
3 semanas	110	180
6 semanas	220	410
Perus		
1 semana	-	50
4 semanas	160	290
12 semanas	600	800
18 semanas	750	1300

Fonte: Beterchini (2012).

2.6.1 Espécie animal

As aves exigem menor quantidade de água do que os mamíferos em porcentagem do peso vivo. Esse fato é decorrente do tipo de excreção de nitrogênio urinário, as aves excretam ácido úrico que necessita menor quantidade de água para sua eliminação do que os mamíferos que excretam ureia.

2.6.2 Idade animal

O consumo de água aumenta com a idade (Tabela 6), porém, decresce em relação ao peso vivo. Esse aumento de consumo de água está correlacionado com o aumento do consumo de ração.

Tabela 6 Efeito da restrição de água no consumo de ração por frangos de corte.

Semanas de idade	Restrição de água					
	0	10	20	30	40	50
	%					
2	100	84	84	75	73	70
4	100	98	94	90	85	80
6	100	90	87	81	77	74
Média	100	90	87	81	77	74

Fonte: Dados adaptados de Kellerup, Parker e Ascott (1965).

2.6.3 Necessidade de água

O consumo de água nas aves de maneira geral é maior que as suas necessidades diárias, a restrição de 10 a 20% de água para poedeiras, por exemplo, não afeta a produção de ovos, no entanto, acima de 20% ocorre prejuízo no desempenho a partir de 36 horas de restrição.

O consumo mostrado pela Tabela 7 evidencia a grande variação no volume de ingestão de água em função do estágio de desenvolvimento e função fisiológica.

2.7 Efeitos causados pela restrição de água no consumo de ração

Nas aves e suínos com acesso livre ao bebedouro apresentam consumo de ração de acordo com as suas necessidades nutricionais, principalmente energia. Por outro lado, a restrição de água, pode ser utilizada com objetivos específicos, no caso de frangos de corte para regular a taxa de crescimento visando a redução da mortalidade por síndrome ascítica e a gordura abdominal na carcaça da ave (Tabela 7).

Tabela 7 Consumo de água por aves (mL/dia) de acordo com a idade e espécie.

Idade (semanas)	Frangos de Corte	Poedeiras Comerciais	Perus
1	32	29	55
2	68	43	103
3	104	57	148
4	143	71	209
5	178	86	285
6	214	100	358
7	250	107	435
8	286	114	514
9	-	122	612
10	-	129	696
12	-	145	777
15	-	158	812
20	-	171	832
35	-	228	1000

Fonte: Adaptado do National Research Council - NRC (1994).

Galinhas poedeiras comerciais, quando privadas de água por período longo (24 h), apresentam queda na postura, podendo chegar a zero. Contudo, a restrição de água por períodos curtos não afeta a produção, no caso de altas temperaturas, como ocorre no verão, a restrição de água de 1 a 3 h pode reduzir os efeitos do super consumo de água, que prejudica a absorção de nutrientes (por exemplo, o cálcio) e também a qualidade da casca do ovo, além de aumentar a umidade das excretas. Em matrizes pesadas, a restrição de água associada a programas de alimentação pode ser utilizada no controle de peso dessas aves (BERTECHINI, 2012).

2.8 Índice de ambiente térmico

O conforto e bem estar animal podem ser avaliado por diversos indicadores, entre eles, a observação criteriosa das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais ao estresse térmico (EL-HADI; SYKES, 1982). Os índices de conforto térmico, que podem ser determinados por meio de duas ou mais variáveis meteorológicas, são usados para avaliar o ambiente e procura caracterizar, em uma única variável, o estresse a que os animais estão submetidos (FABRÍCIO, 1994; NÃÃS, 1989).

2.9 Índice de temperatura e umidade (ITU)

Um dos índices considerado mais simples é o (ITU), por depender apenas de duas variáveis, a temperatura absoluta do ar denominada como t_{bs} e a UR. Thom (1959) desenvolveu o ITU para seres humanos (equação 1) e citado também por Deshazer e Beck (1988) (equação 2).

Atualmente é um dos mais utilizados em trabalhos sobre conforto térmico para animais, embora vários autores já tenham demonstrado que este índice, por considerar apenas duas variáveis, apresenta limitação em representar de forma mais ampla as condições ambientais sob as quais os animais vivem. O ITU pode ser calculado pelas equações 1 e 2 abaixo:

$$ITU = t_{bs} + 0,36 * (t_{po} - 330,08) \quad (1)$$

$$ITU = 0,6 * t_{bs} + 0,4 * t_{bu} \quad (2)$$

onde:

$$t_{po} = f(t_{bs}, t_{bu}) \quad (3)$$

sendo:

t_{bs} , temperatura de bulbo seco, K;

t_{bu} , temperatura de bulbo molhado, K;

t_{po} , temperatura do ponto de orvalho, K.

$$t_{po} = \frac{1}{\frac{1}{273} - \ln\left(\frac{e}{611}\right) * \frac{1}{5420}} \quad (4)$$

onde:

$$e = e_{SU} - A * P(t_{bs} - t_{bu}) \quad (5)$$

$$e_{SU} = 610,78 * 10^{5420 * \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{t_{bu}}\right)} \quad (6)$$

sendo:

e , pressão de vapor d'água, Pa;

e_{su} , pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do bulbo, Pa;

A , constante psicrométrica, $6,7 \cdot 10^{-4} \text{ * } ^\circ\text{C}^{-1}$;

P , pressão atmosférica, Pa.

2.10 Índice de temperatura do globo e umidade (ITGU)

Segundo Baêta e Souza (1997), são vários os índices existentes para quantificar e avaliar o ambiente térmico dos animais. Entretanto, nas condições ambientais em que os animais são submetidos à radiação solar, um dos indicadores mais precisos de estresse é o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), desenvolvido por Buffington, Colazzo-Arocho e Caton (1981). Esse índice foi desenvolvido baseado no ITU, mas utiliza a t_{gn} (temperatura de globo negro) em substituição à t_{bs} . Dessa forma, o ITGU incorpora em uma única variável, t_{bs} , UR, velocidade do vento e radiação solar, na forma de t_{gn} , podendo ser calculado utilizando a equação 7.

$$ITGU = t_{gn} + 0,36 * (t_{po} - 330,08) \quad (7)$$

onde, t_{gn} e t_{po} são expressos em [K].

2.11 Tipos de bebedouros utilizados na avicultura

A indústria de equipamentos avícolas tem apresentado um desenvolvimento técnico significativo. Entre os avanços, se destacam os bebedouros empregados em criação de aves de postura e de corte. Para as primeiras, empregam-se

os bebedouros tipo taça, enquanto que para as demais, o tipo chupeta ou (*nipple*), visando controlar as variáveis que interferem na resposta das aves às condições ambientais e nutricionais.

Em estudos sobre bebedouros há informações sobre a qualidade microbiológica e a incidência de doenças na avicultura (AMARAL, 2004; AMARAL et al., 2001; BARROS; AMARAL; ROSSI JUNIOR, 2001; VALIAS; SILVA, 2001) ou sobre o manejo dos equipamentos (GERMAT; ADAMS, 1990, 1992; RAMOS; GERMAT; ADAMS, 1990), mas ainda há carência de estudos para avaliação da influência do tipo de bebedouro sobre o desempenho das aves e a qualidade da água ingerida.

De acordo com pesquisas realizadas por Togashi e Angela (2008), bebedouros tipo *nipple* são mais eficientes se comparados com o tipo taça. As aves que utilizaram bebedouro tipo *nipple* apresentaram maior porcentagem de postura e melhor conversão alimentar. A qualidade dos ovos não foi influenciada pelo tipo de bebedouro utilizado. O uso de bebedouro tipo *nipple* possibilita o fornecimento de água com melhor qualidade microbiológica para as poedeiras e, conseqüentemente, favorece o desempenho das aves. Porém estudos realizados por Klosowisk et al. (2009), que comparam a eficiência entre bebedouros tipo *nipple* e tipo calha, mostram que a temperatura da água oferecida pelos bebedouros tipo *nipple* é bem superior ao tipo calha que é um dos fatores que influencia na qualidade do ovo.

Estudos realizados por Silva et al. (2012) demonstram a influência da temperatura da água de bebida em criação de galinhas poedeiras na qualidade da casca do ovo. As aves, mesmo submetidas a estresse térmico, no caso 32°C, e bebendo água resfriada com gelo, utilizando bebedouros tipo *nipple*, obtiveram resultados de melhora consideráveis na qualidade da casca do ovo.

Melhores resultados podem ser conseguidos, se forem utilizados sistemas de controle dessa temperatura, o que pode ser conseguido utilizando-se efeitos termoelétricos em juntas de semicondutores a base de silício e outros compostos.

2.12 Semicondutores e seus efeitos termoelétricos

2.12.1 Semicondutores

Semicondutores são dispositivos de estado sólido com diversas aplicações em eletrônica. Para a aplicação neste trabalho, é importante o conhecimento dos níveis energéticos da física quântica dos semicondutores como é o caso do nível de Fermi. O controle dos níveis de energia de Fermi permite alterar o comportamento térmico de junções semicondutoras, permitindo-se assim, sua aplicação no resfriamento localizado em bebedouros, utilizando propriedades termo físicas de semicondutores. A energia de Fermi é definida como sendo aquela para a qual o número médio de elétrons que ocupam um estado quântico com essa energia é 0,5, sendo levado em conta o spin do elétron de modo que a ocupação máxima é 1,0 (KITTEL,1975).

Um semicondutor é um sólido covalente que pode ser considerado "isolante" pois sua banda de valência está completa e a banda de condução totalmente vazia. Para a temperatura zero absoluto, há uma banda proibida ou intervalo de energia entre as bandas de condução e de valência, inferior a 2eV. Para o silício este intervalo é de 1,14eV e para o germânio 0,67eV. Embora o valor da função de distribuição de Fermi, que determina a população relativa entre um estado energético na banda de condução e outro estado na banda de valência, seja pequena, pois $kT \approx 0,025\text{eV}$ à temperatura ambiente, o número de estados disponíveis na banda de condução é elevado.

A excitação térmica da banda de valência para a banda de condução ocorrerá, portanto, para um número significativo de elétrons, este número sendo o produto do número de elétrons por estado quântico pelo número de estados quânticos por unidade de intervalo de energia. Assim, a condutividade de um semiconductor cresce rapidamente com a temperatura, sendo que no silício, por exemplo, o número de elétrons excitados aumenta por um fator de cerca de um bilhão quando a temperatura dobra de 300 K a 600 K. Como a banda de valência está totalmente ocupada à baixa temperatura, com os quatro elétrons de valência de silício ou germânio formando ligações covalentes, cada excitação eletrônica para a banda de condução deixa uma lacuna na banda de valência (EISBERG; RESNICK, 1979).

Essas lacunas, funcionando como portadores de cargas positivas, também contribuem para a condutividade. Na Figura 3 aparece o esquema de banda de um semiconductor onde o intervalo de energia da banda proibida e a banda de valência, inicialmente cheia, e a banda de condução, originalmente vazia, é pequeno. A excitação térmica leva alguns elétrons a ultrapassar a banda proibida e chegar à banda de condução, deixando lacunas na banda de valência. A condutividade dos semicondutores provenientes de excitações térmicas é denominada de condutividade intrínseca.

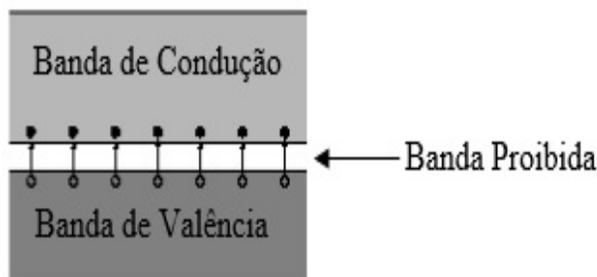


Figura 3 Diagrama de banda de um semiconductor.
Fonte: Eisberg e Resnick (1979).

Existem outras maneiras de reforçar a condutividade como, por exemplo, por foto excitação. O intervalo de energia proibida nos semicondutores é equivalente à energia dos fótons da região do vermelho do infravermelho do espectro eletromagnético, e conseqüentemente, os semicondutores são fotocondutores.

Essa contribuição à condutividade aumenta com a intensidade da luz e cai a zero quando desliga-se a fonte de luz e a distribuição de equilíbrio térmico normal restabelece-se.

Outra forma de aumentar a condutividade dos semicondutores é pela adição de impurezas no mesmo. Isto é, substituem-se alguns átomos do semiconductor por átomos de outro elemento, tendo aproximadamente o mesmo tamanho porém valência diferente.

A condutividade resultante é denominada de condutividade extrínseca e o processo de substituição de dopagem. Se uma pequena quantidade de arsênico for adicionada ao germânio fundido, as impurezas de arsênico vão se cristalizar juntamente com o germânio em sua estrutura do tipo diamante.

O arsênico tem cinco elétrons por átomo na banda de valência e o germânio quatro. Conseqüentemente, quatro dos elétrons do arsênico serão utilizados na ligação covalente e o quinto elétron ficará praticamente livre. Ele não poderá ir para a banda de valência e ficará fracamente ligado numa "órbita", de raio muito grande, em torno do íon de arsênico mono carregado.

A atração coulombiana do íon do arsênico é fortemente blindada pela polarização dos átomos de germânio das proximidades, isto é, o campo do íon é enfraquecido pela natureza dielétrica do cristal de germânio.

Esse quinto elétron, tendo uma energia de ligação com o arsênico tão pequena, poderá ser facilmente ionizável e ir para a banda de condução a temperaturas muito mais baixas do que as necessárias para os elétrons da banda de valência. Esses elétrons suplementares ocuparão alguns dos níveis discretos de energia, situados logo abaixo da banda de condução, à temperaturas baixas, e poderão ser facilmente excitados termicamente para esta banda à mesma temperatura, todos esses elétrons em excesso estarão na banda de condução.

A condutividade elétrica poderá ser controlada pela quantidade de arsênico usada como impureza. Obtém-se um efeito significativo com apenas um átomo de impureza por milhão de átomos do semiconductor. Uma impureza que fornece elétrons é denominada impureza doadora e o semiconductor resultante é chamado de tipo N (negativo) por ter um excesso de elétrons livres. Se uma pequena quantidade de gálio for adicionada ao germânio, a situação será diferente.

O gálio possui três elétrons por átomo na banda de valência, tendo portanto um déficit de um elétron por átomo na formação das ligações covalentes.

O resultado é a formação de um buraco, que pode se deslocar através da rede cristalina, comportando-se como uma carga e massa positivas, à medida que elétrons sucessivos preenchem um buraco e criam outro.

Do ponto de vista da energia, essa impureza introduz níveis discretos vazios ligeiramente acima do topo da banda de valência. Elétrons de valência são então facilmente excitados para esses níveis de impureza, que podem aceitá-los, deixando lacunas na banda de valência.

A separação em energia entre os níveis aceitadores e o topo da banda de valência é pequena, pelas mesmas razões que produzem a pequena separação entre os níveis doadores e a base da banda de condução: uma constante dielétrica elevada e uma pequena massa efetiva.

Uma impureza deficiente em elétrons é denominada impureza aceitadora e o semiconductor resultante é denominado do tipo P (positivo). Se a condutividade de um semiconductor é do tipo P ou do tipo N, pode ser determinada pelo efeito Hall. Na Figura 4 são apresentados esquematicamente, à esquerda, diagrama esquemático de níveis de energia de um cristal de germânio contendo átomos de impurezas doadoras; à direita, contendo átomos de impurezas aceitadoras.

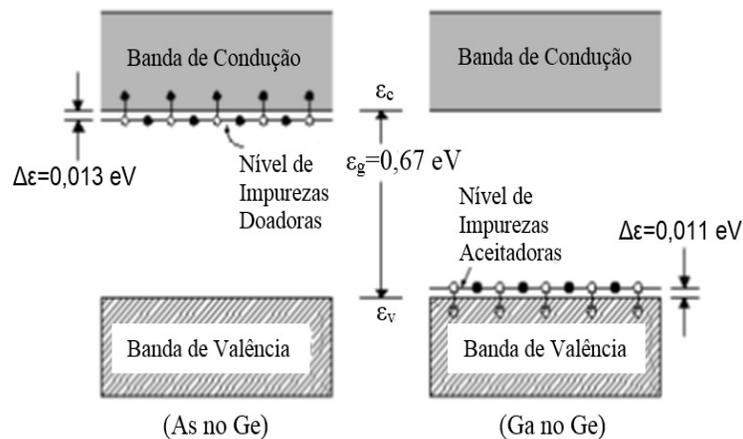


Figura 4 Diagrama de níveis de energia de semicondutor.
Fonte: Eisberg e Resnick (1979).

Os níveis de energia localizados dos átomos das impurezas não são alargados, dando origem a bandas porque esses átomos estão afastados de vários parâmetros de rede e interagem muito fracamente uns com os outros. Na Tabela 8 são apresentados os níveis de energia introduzidos nos cristais de germânio e silício por pequenas quantidades de impurezas comuns.

Para as impurezas doadoras é dada a energia entre os níveis doadores e a energia " ϵ_c " da base da banda de condução, enquanto que para as impurezas aceitadoras é dada a energia entre o topo da banda de valência " ϵ_v " e os níveis aceitadores.

Observe que essas energias são comparáveis a $kT = 0,025$ eV à temperatura ambiente.

Tabela 8 Energia de ionização de doadores e aceitadores.

	No Germânio	No Silício
Impureza	$\varepsilon_c - \varepsilon_{\text{doador}}$ (eV)	
Arsênico	0,0127	0,049
Antimônio	0,0096	0,039
Impureza	$\varepsilon_{\text{aceitador}} - \varepsilon_v$ (eV)	
Gálio	0,0108	0,065
Índio	0,0112	0,16

Fonte: Eisberg e Resnick (1979).

Num semiconductor intrínseco, o número de estados vagos na banda de valência é igual ao número de estados ocupados na banda de condução, de modo que a energia de Fermi se localiza em algum lugar do intervalo entre as bandas. Se a densidade de estados nas duas bandas for simétrica então a energia de Fermi se situará no meio do intervalo de energia proibida (EISBERG; RESNICK, 1979).

Num semiconductor extrínseco contendo doadores, a energia de Fermi se situa acima do meio da banda proibida porque existem mais elétrons na banda de condução, do que lacunas na banda de valência. Num semiconductor extrínseco contendo impurezas aceitadoras a energia de Fermi se encontra abaixo do meio da banda proibida, porque existem menos elétrons na banda de condução, do que lacunas na banda de valência.

É interessante considerar o efeito combinado da temperatura e de impurezas na energia de Fermi. Considere inicialmente um semiconductor de tipo N à temperatura do zero absoluto.

Os níveis dos doadores estão todos ocupados mas não há elétrons na banda de condução.

O nível de Fermi deve então se situar entre os níveis doadores e a base da banda de condução, já que o número de elétrons por estado $n(\varepsilon)$ vale até uma energia que inclui os níveis doadores e zero na banda de condução.

Quando a temperatura aumenta, elétrons dos níveis doadores são excitados para a banda de condução. A temperatura em que a metade dos estados doadores estiver desocupada, a energia de Fermi se encontrará na energia dos níveis doadores.

Com um aumento da temperatura, os elétrons da banda de valência serão excitados e o nível de Fermi decrescerá ainda mais.

Quando o número de elétrons proveniente da banda de valência constituir uma fração muito grande dos elétrons da banda de condução, o semiconductor se comporta como se fosse intrínseco e a energia de Fermi cairá até aproximadamente o centro do intervalo entre as duas bandas.

Por outro lado, se for considerado um semiconductor do tipo p, encontra-se analogamente, quando a temperatura aumenta, a energia de Fermi se desloca entre o topo da banda de valência e os níveis aceitadores, posição que ocupa no zero absoluto, até o centro do intervalo entre as duas bandas, à alta temperatura. As baixas temperaturas, quando $kT \ll \varepsilon_g$, a condução elétrica é devida sobretudo às impurezas porque há pouca excitação de elétrons de valência. As temperaturas altas, os níveis de impurezas já foram utilizados, isto é, eles já doaram ou aceitaram elétrons, de modo que o semiconductor se comporta como se fosse intrínseco. Na figura 5 aparece à esquerda: Energia de Fermi em função da temperatura em semicondutores do tipo N para duas concentrações diferentes de impurezas; à direita: Em semicondutores do tipo P para duas concentrações diferentes de impurezas (EISBERG; RESNICK, 1979).

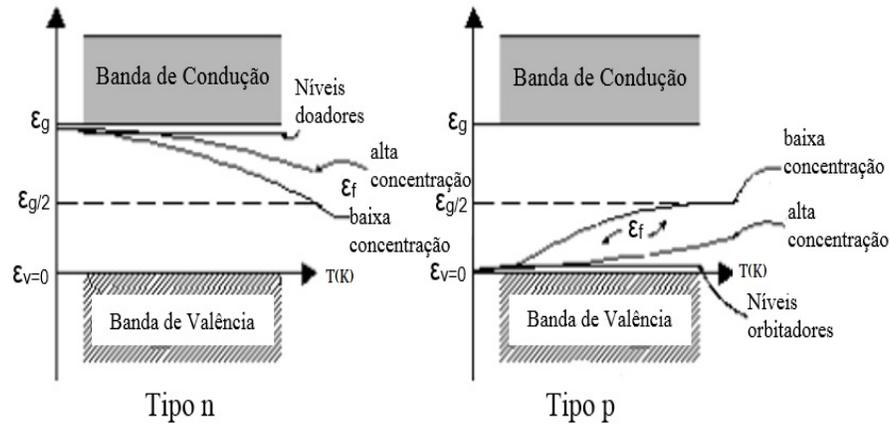


Figura 5 Representação gráfica da energia de Fermi em função da temperatura para os semicondutores extrínsecos.

Fonte: Eisberg e Resnick (1979).

2.13 Efeitos termoelétricos

Os efeitos termoelétricos são aqueles em que a energia térmica e elétrica possa ser convertida de uma forma para outra. Dentre estes, de grande utilidade prática temos os efeitos *Seebeck* e *Peltier*. Pelo fato destes efeitos não utilizarem partes mecânicas móveis, isso têm atraído o interesse da microeletrônica no resfriamento localizado em dispositivos, uma vez que a tecnologia pode ser diretamente incorporada (integrada) e o controle feito por circuitos eletrônicos.

Os cientistas Thomas Seebeck e Jean Peltier, no Século XIX, descobriram os efeitos que levam seus nomes e são à base da termoeletricidade. O efeito *Seebeck* mostra que a junção de dois metais diferentes e semicondutores submetidos a um gradiente de temperatura faz surgir uma corrente através dos condutores.

O inverso também ocorre, denominado efeito *Peltier*, onde através de uma junção de dois metais submetidos a uma diferença de potencial, surge um fluxo de calor de um metal para o outro.

A pesquisa na produção de materiais para aplicação termoelétrica avança rapidamente, principalmente na busca de materiais com maiores eficiências térmicas. Nesta área tem dominado nas aplicações como geradores termoelétricos ou refrigeradores as ligas de Telúrio (Bi_2Te_3 e Sb_2Te_3).

2.13.1 Efeito Joule

Quando um condutor é aquecido ao ser percorrido por uma corrente elétrica, ocorre a transformação de energia elétrica em energia térmica.

Este fenômeno é conhecido como Efeito Joule, em homenagem ao Físico Britânico James Prescott Joule (1818-1889). Esse fenômeno ocorre devido ao encontro dos elétrons da corrente elétrica com as partículas do condutor. Os elétrons sofrem colisões com átomos do condutor, parte da energia cinética (energia de movimento) do elétron é transferida para o átomo aumentando seu estado de agitação, conseqüentemente sua temperatura. Assim, a energia elétrica é transformada em energia térmica (calor).

A descoberta da relação entre eletricidade e calor trouxe ao homem vários benefícios. Sendo um deles a compreensão dos estudos sobre os efeitos *Peltier* e *Seebeck*.

2.13.2 Efeito *Seebeck*

Thomas Seebeck descobriu esse efeito que leva seu nome em 1821. Considere duas junções entre dois metais diferentes A e B (figura 6). Uma das junções

é mantida a uma determinada temperatura T_1 e a outra junção é mantida a uma outra temperatura de referência T_2 , sendo T_1 maior que T_2 . Conectando-se as duas junções por um fio condutor em série com um amperímetro, verifica-se o aparecimento de uma corrente elétrica. Suponha que as junções não sejam interligadas por este condutor, porém sejam ligadas aos terminais de um voltímetro, neste caso, aparece entre as extremidades abertas do circuito uma força eletromotriz. O aparecimento de uma força eletromotriz (f.e.m.) gerada por uma diferença de temperatura entre duas junções de materiais diferentes caracteriza o efeito *Seebeck* ou efeito termoelétrico.

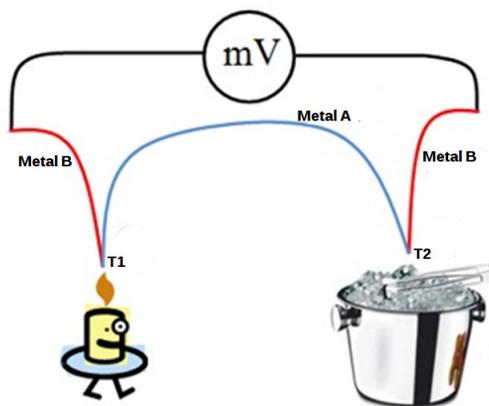


Figura 6 Efeito *Seebeck*.

Esse fenômeno é muito usado pelos engenheiros para medição de temperatura com o que chamamos de termopares. A diferença de potencial mV gerada pelo efeito *Seebeck* é dada por:

$$V = \alpha_{ab} \Delta T \quad (8)$$

Em que α_{ab} é a diferença do poder termoelétrico dos dois materiais e ΔT representa a diferença de temperatura entre as duas junções e do tipo de material.

Sendo α_{ab} positivo se a corrente flui da junção quente para a fria e negativo quando ocorre o caso contrário. O efeito *Seebeck* pode ser usado para gerar eletricidade ou então para medir temperaturas absolutas ou diferenças de temperatura. Para geração termoelétrica o efeito *Seebeck* é otimizado com o uso de materiais semicondutores.

2.13.3 Efeito *Peltier*

Os avanços trazidos pela ciência dos materiais provocou uma grande revolução dos semicondutores; permitiu que efeitos térmicos conhecidos desde o século XIX se tornassem viáveis tecnologicamente. Uma dessas revoluções foi a transformação do Efeito *Peltier* em dispositivos para uso cotidiano.

A refrigeração baseada apenas em expansão/compressão de fluidos refrigerantes começa a percorrer um novo caminho. Com técnicas modernas, a indústria hoje produz módulos termoelétricos capazes de transferir calor de modo eficiente para produzir um resfriamento ou aquecimento com um dispositivo totalmente em estado sólido.

O efeito *Peltier*, descoberto em 1834, é contrário ao efeito *Seebeck*. Ao circular uma corrente pela junção, esta ficará aquecida (TQ) ou refrigerada (TF), como representa a Figura 7, dependendo do sentido da corrente. Há o aparecimento do efeito joule simultaneamente ao efeito *Peltier*. Contudo, o efeito joule produz apenas aquecimento da junção, independentemente do sentido da corrente. No efeito *Peltier* ocorre aquecimento ou resfriamento na face (TQ) e (TF) dependendo do sentido da corrente que circula na junção.

Para este efeito definimos o coeficiente *Peltier* π_{ab} ,

$$q = \pi_{ab} \dot{i} \quad (9)$$

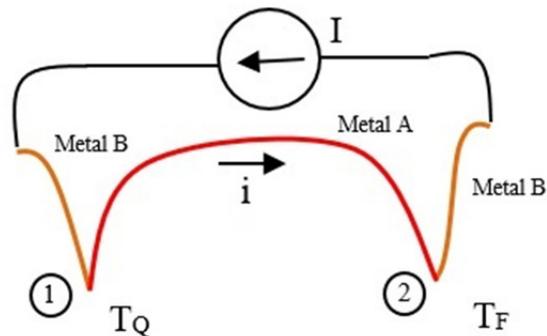


Figura 7 Efeito *Peltier*.
Fonte: Adaptado pelo autor.

Na equação 9, "q" é a quantidade de calor transferida através da junção quando é percorrida pela corrente "i". Nesta situação, π_{ab} é positivo se a junção 1 aquece e a junção 2 resfria quando a corrente passa de 1 para 2.

O coeficiente de *Peltier* depende da temperatura da junção. Este efeito em junções metálicas em geral é mascarado pelo efeito do aquecimento Joule. O uso de materiais semicondutores permite ter este efeito amplificado, de modo a permitir seu uso em dispositivos de refrigeração.

Em uma junção (figura 8), mantida à temperatura uniforme "T", uma corrente elétrica "i" está fluindo de um condutor "1" para um condutor "2". A corrente elétrica causa uma troca de calor da face fria (lado frio T_F) para a face quente (lado quente T_Q) e conseqüentemente da face quente para o ambiente ; porém, se esta troca é medida, encontra-se um valor diferente daquele esperado pelo efeito Joule ($I^2 * R$) observado em condutores ordinários. A diferença depende da magnitude e direção da corrente, da temperatura, e dos materiais "tipo N" e "tipo P". Este fenômeno na junção é conhecido como efeito *Peltier*.

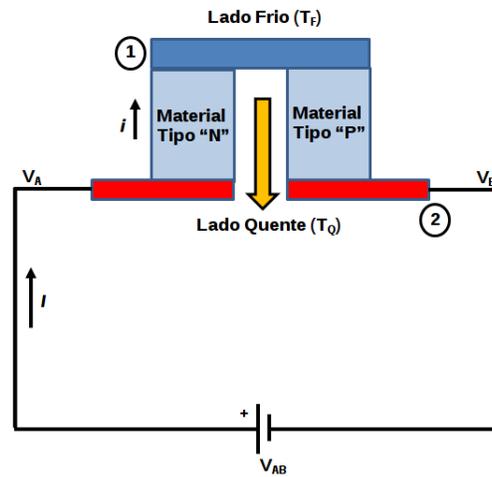


Figura 8 Efeito *Peltier*: A corrente passando através das junções conduz o calor da face fria para a face quente.

Fonte: Adaptado pelo autor.

Sendo V_A e V_B os potenciais dos condutores nos lados opostos da junção, a taxa de trabalho elétrico na junção é a corrente vezes a queda de potencial através da junção,

$$IV_{A,B} = i^2 R_j \quad (10)$$

Onde, " R_j " é a resistência da junção. A quantidade de energia absorvida ou liberada na junção de dois materiais dissimilares é dada pelo coeficiente de *Peltier* π_T (Watts/Ampér). Assim, para a face da esquerda da junção, a corrente que entra é:

$$q_A = I\pi_T(A) \quad (11)$$

E a para a face da direita da junção, a corrente que sai é:

$$q_B = I\pi_T(B) \quad (12)$$

Se q_j representa a taxa para a qual a energia deve ser removida da junção para manter sua temperatura constante, tem-se, pela primeira lei da termodinâmica,

$$q_j = I^2R_j + I(\pi_T(A) - \pi_T(B))[W] \quad (13)$$

Ou usando a segunda lei de Kelvin,

$$q_j = I^2R_j + IT(\alpha_A - \alpha_B)[W] \quad (14)$$

Dependendo da magnitude dos dois termos acima, q_j pode representar o calor liberado ou absorvido na junção. Desde que o calor *Peltier* seja reversível, o segundo termo pode ser somado ou subtraído do segundo, simplesmente pela reversão da direção de corrente (figura 9).

2.14 Critérios para seleção dos materiais dos pares termoelétricos

Os componentes básicos de um gerador termoelétrico são as fontes de calor, quente (fornece energia) e fria (para rejeição do calor) e os pares termoelétricos onde é feita a conversão de energia térmica em elétrica. Considerando que as fontes podem ser analisadas de forma independente, desde que as temperaturas respectivas sejam conhecidas, o principal objeto de análise são os termopares.

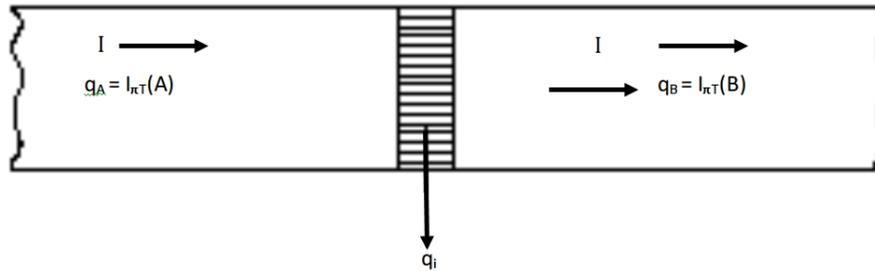


Figura 9 Junção de dois materiais diferentes circulando uma corrente elétrica.
Fonte: Angrist (1977).

Os termopares metálicos possuem um coeficiente de *Seebeck* em torno de 100 microvolts por grau *Kelvin*, enquanto certos semicondutores têm coeficiente de *Seebeck* por volta de 1000 microvolts por grau *Kelvin*. Assim, concluímos que os materiais semicondutores são melhores que os metais para dispositivos termoelétricos.

A escolha do termopar baseia-se, principalmente, na figura de mérito ou parâmetros de materiais semicondutores, que têm grande importância na análise do gerador termoelétrico.

As equações de projeto e os resultados traçados mostram que mesmo pequenos aumentos na figura de mérito podem produzir significativas mudanças na eficiência térmica. Segundo Nolas e Goldsmid (1999) a definição de figura de mérito para um único material é dada por:

$$Z = \frac{\alpha^2}{\lambda\rho} \quad (15)$$

Onde:

α é o coeficiente de *Seebeck*

ρ é a resistividade elétrica

λ é a condutividade térmica

Esta equação revela que para a maioria dos metais, quanto maior o coeficiente de *Seebeck*, maior será a figura de mérito, desde que $\lambda\rho$ seja uma constante para um dado material. Consequentemente, a figura de mérito de semicondutores possui valor maior em relação aos metais.

O problema essencial resume-se em encontrar materiais com maior figura de mérito para a faixa de temperatura de interesse. Isto envolve, simultaneamente, o controle de três parâmetros macroscópicos: o coeficiente de *Seebeck*, a resistividade elétrica e a condutividade térmica. Cada uma das três quantidades é uma função da densidade dos portadores de carga. O coeficiente de *Seebeck* diminui quando a concentração de portadores de carga aumenta; a resistividade elétrica diminui com o aumento da concentração dos portadores de carga. Enquanto, a condutividade térmica total aumenta com o aumento da concentração de portadores de carga. O inter-relacionamento entre estes parâmetros está ilustrado na figura 10. O coeficiente de *Seebeck* é uma função da densidade de portadores de cargas "n" e a resistividade elétrica, contudo, é calculada pela expressão:

$$\frac{1}{\rho} = \tau = n * e * \mu \quad (16)$$

Onde "e" é a carga eletrônica e "μ" é a mobilidade de portadores de carga. A condutividade térmica para semicondutores é formada no mínimo por duas partes, uma porção eletrônica, " λ_{el} ", que deve ser calculada pela lei de Wiedmann-Franz-Lorenz e uma contribuição referente a rede cristalina, " λ_l ".

Assim,

$$\lambda = \lambda_{el} + \lambda_l \quad (17)$$

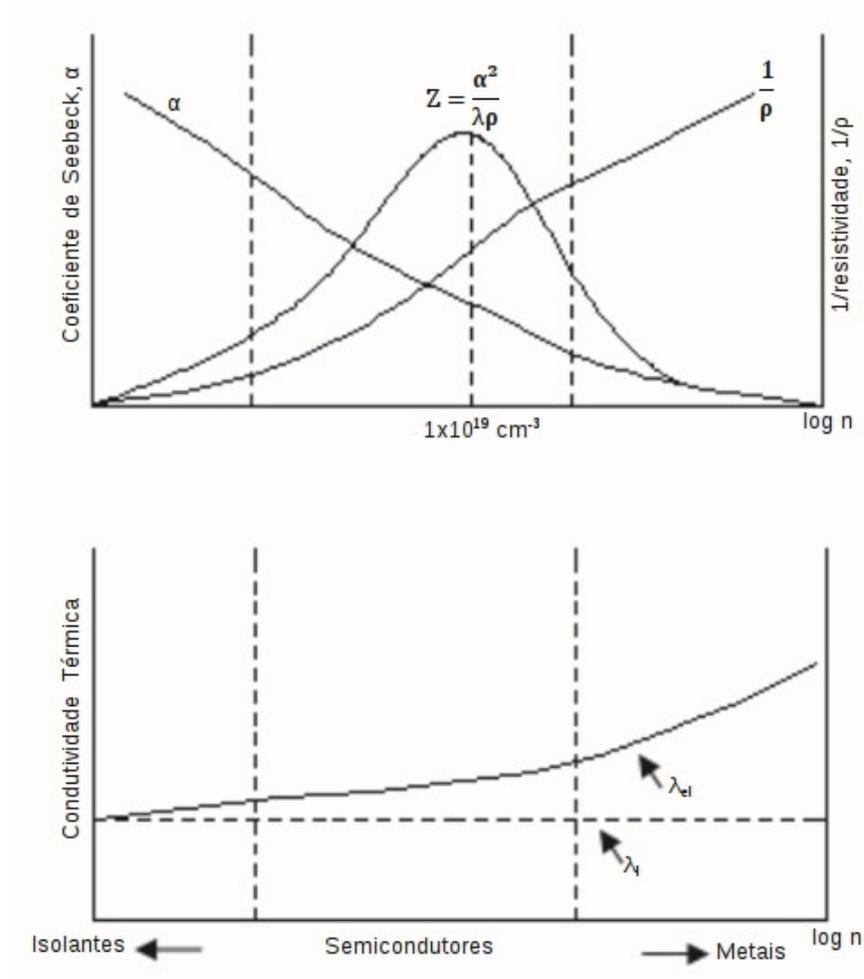


Figura 10 Representação gráfica de como o efeito *Seebeck*, resistividade e condutividade térmica dependem da concentração de portadores carregados extrínsecos.

Fonte: Angrist (1977).

Desde que o efeito relativo à rede cristalina seja considerado independente da concentração de portadores, e o efeito referente à parte eletrônica seja diretamente dependente da concentração de portadores, a condutividade térmica total cresce com o crescimento da concentração de portadores (ANGRIST, 1977).

A figura 10 foi dividida em três regiões: isolantes, semicondutores e metais. No isolante, a resistividade elétrica é larga demais para produzir materiais termoelétricos de qualquer valor.

Na outra extremidade da escala, os metais têm coeficiente de Seebeck muito baixo e a alta condutividade térmica que impedem que eles tenham materiais termoelétricos de qualquer valor. Contudo, semicondutores altamente dopados ou semicondutores com concentração de portadores próximas a 10^{19}cm^{-3} possuem consideráveis coeficientes de *Seebeck*, baixa resistividade elétrica e baixa condutividade térmica. Isto é mostrado no gráfico pelo pico de "Z" versus "n" próximo à extremidade direita da seção classificada como semicondutores.

Na figura 11 ilustra o comportamento da figura de mérito para alguns materiais semicondutores "tipo P" em função da temperatura.

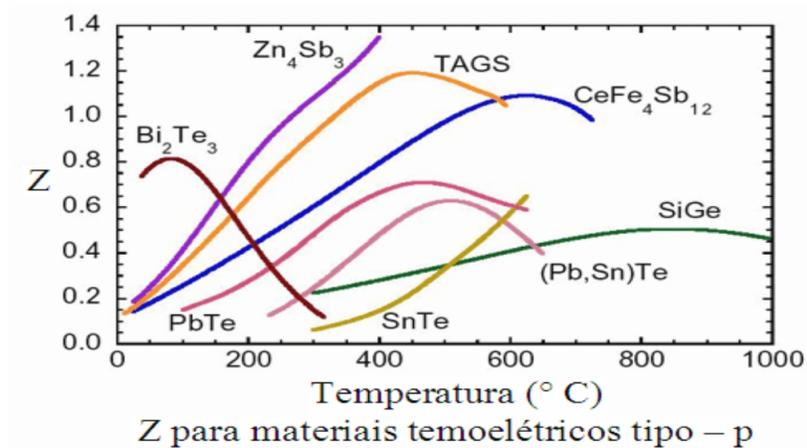


Figura 11 Figura de mérito para alguns materiais termoelétricos tipo P.
Fonte: Rowe (1995).

2.15 Descrição dos efeitos termoelétricos de estado sólido

Seja um semiconductor tipo P conectado entre dois metais (Figura 12). Assuma que os contatos sejam ôhmicos (a corrente que cruza o contato é linearmente proporcional a voltagem aplicada) e que a bateria colocada no circuito supra um potencial cruzando a amostra. A energia dos portadores no metal é a energia de Fermi. Enquanto no semiconductor eles são a energia de Fermi mais $2kT$.

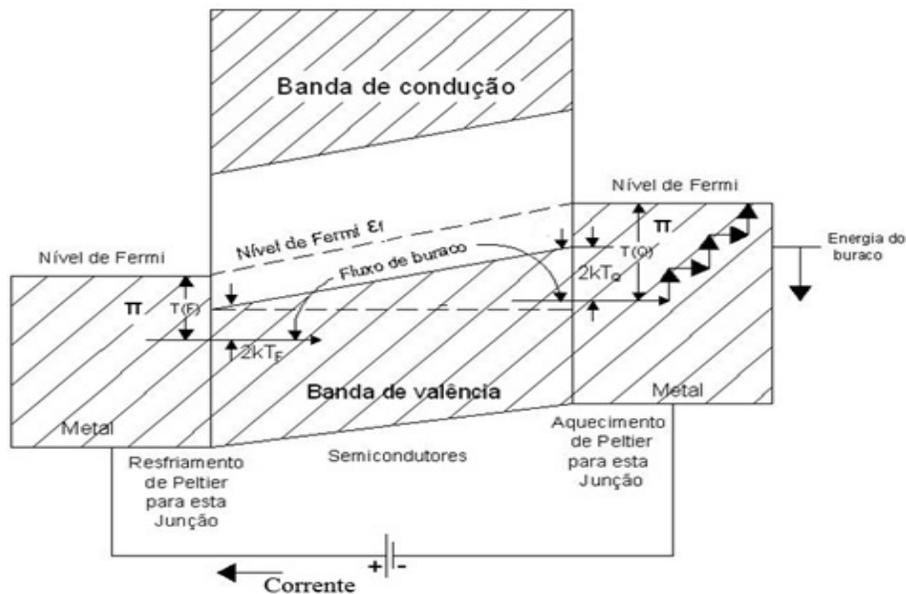


Figura 12 Diagrama de energia para um circuito contendo um semiconductor tipo P entre dois contatos de metais.

Fonte: Angrist (1977).

O coeficiente de *Peltier*, πT fornece a magnitude do aquecimento ou resfriamento que ocorre em uma junção de dois materiais diferentes, além do aquecimento por efeito Joule que está ocorrendo na região de contato.

Desde que o coeficiente *Peltier* seja a relação de energia liberada ou absorvida por carga cruzando o contato, sua dimensão será de voltagem. Considere, agora, o aquecimento ou resfriamento de *Peltier* sendo devido a mudança na energia cinética média de uma corrente carregada quando ela atravessa um contato.

O entendimento físico do fenômeno pode ser feito considerando novamente a Figura 12. O nível de Fermi no metal é contínuo com o nível de Fermi no semiconductor por causa do equilíbrio assumido através da interface; a posição do nível no metal, por definição, é coincidente com a que faz com que o nível de Fermi no metal esteja no centro da distribuição de energia de elétrons na banda parcialmente preenchida. Assuma que uma corrente da lacuna está fluindo da esquerda para direita cruzando a junção; contanto que as lacuna se desloquem no metal, ele carrega em média somente a energia de Fermi daquele metal; mas segundo a regra, para ele cruzar a junção da esquerda, deve ter no mínimo a energia de Fermi do semiconductor, ε_f , maior que sua energia média no metal. Assim, somente uma fração do número total de lacuna no metal tem energia suficiente para cruzar a interface metal/semiconductor. Usando métodos da teoria dos transportes, sabemos que as lacunas que são capazes de cruzar a interface metal/semiconductor, cada uma levará uma energia média de $2kT$ mais a energia de Fermi.

O metal é assim forçado na posição de continuidade a suprir de energia de cada buraco que cruza a interface. A magnitude da energia por *coulomb* que cada buraco leva do metal e entra no semiconductor é o coeficiente de *Peltier* que é a soma da energia de Fermi com a energia adicional requerida para permitir que o buraco viaje pelo semiconductor. Desta forma:

$$\pi_{T(P)} = \frac{1}{e}(\varepsilon_f + 2KT) \quad (18)$$

A energia adicional requerida pelo semicondutor é suprida pela estrutura cristalina do metal, causando assim uma passagem seletiva para o semicondutor de lacuna de alta energia. É interessante notar que esta energia não é entregue ao semicondutor pelo buraco, desde que estas lacuna já estejam em equilíbrio térmico com as lacuna que já estão no semicondutor.

A energia requerida pelas lacunas para ganhar a entrada no semicondutor simplesmente desaparece da vizinhança do contato, acarretando resfriamento no seu processo. Pela aplicação do mesmo processo na ordem reversa, com a mesma corrente, uma quantidade igual de calor deve ocorrer dentro do outro contato.

O calor que desaparece na junção da esquerda é agora responsável pelo calor que aparece na junção da direita para satisfazer a conservação de energia para o circuito completo.

A derivação aqui apresentada para o coeficiente de *Peltier* deve ser reconhecida como sendo uma aproximação. Uma das razões pelas quais ela é aproximada deve-se ao fato de levar em conta o mecanismo de espalhamento que a carga de portadores encontra ao andar através do cristal.

Se o espalhamento for considerado, a equação para o coeficiente de *Peltier* para um semicondutor do tipo P com um tempo de relaxação da forma $\tau = \phi(T)\varepsilon^{-s}$ é:

$$\pi_{T(P)} = \frac{1}{e} \left[\varepsilon_f + \left(\frac{5}{2} - s \right) KT \right] \quad (19)$$

e para o espalhamento de fônons pela rede cristalina, onde $s = 1/2$, obtém-se a equação 20 previamente definida. Para um semicondutor tipo N, a expressão equivalente para o coeficiente de *Peltier* é:

$$\pi_{T(n)} = -\frac{1}{e} \left[(\varepsilon_g - \varepsilon_f) + \left(\frac{5}{2} - s \right) KT \right] \quad (20)$$

O coeficiente de *Seebeck* para um material tipo P pode ser encontrado aplicando a segunda relação de *Kelvin*:

$$\alpha_p = \frac{\pi T(p)}{T} \quad (21)$$

assim,

$$\alpha_p = \frac{K}{e} \left(\frac{\varepsilon_f}{KT} \right) + \left(\frac{5}{2} - s \right) \quad (22)$$

e para o material tipo N:

$$\alpha_n = -\frac{K}{e} \left(\frac{\varepsilon_g - \varepsilon_f}{KT} \right) + \left(\frac{5}{2} - s \right) \quad (23)$$

O sinal do coeficiente de *Peltier* ou *Seebeck* possibilita determinar se um condutor é tipo N ou tipo P, assumindo que a constante de espalhamento seja menor que 5/2.

Desde que o nível de Fermi esteja alguns kT acima do topo da banda de valência, as equações 22 e 23 prevê um coeficiente de *Seebeck* em um condutor na ordem de centenas de microvolts por grau onde $k/e = 86$ microvolts por grau.

Em um semiconductor intrínseco, ambos elétrons e lacuna difusos no gradiente de temperatura, cancelam entre si suas contribuições se ambos tipos de portadores de carga têm a mesma mobilidade, todavia, se suas mobilidades são diferentes, o coeficiente de *Seebeck* líquido pode ser encontrado através da seguinte média ponderada:

$$(\mu_n + \mu_p)\alpha_i = \mu_n\alpha_n + \mu_p\alpha_p \quad (24)$$

Pode-se simplificar esta expressão, assumindo que o nível de Fermi passe pelo centro da banda de energia proibida tal que $(\varepsilon_g - \varepsilon_f) = (\varepsilon_f - 0) = \varepsilon_g/2$. Então, quando as equações 22 e 23 são combinadas com a equação 24, tem-se:

$$\alpha_i = \left[\frac{1-b}{1+b} \right] \frac{K}{e} \left[\left(\frac{\varepsilon_g}{2KT} \right) + \left(\frac{5}{2} - s \right) \right] \quad (25)$$

Onde:

$$b = \frac{\mu_n}{\mu_p} \quad (26)$$

O caso mais complicado é quando $n \neq p$ e as mobilidades não são iguais; para esta situação de condução misturada, tem-se:

$$\alpha = \frac{K}{e} \left\{ \frac{P\mu_p \left[\frac{\varepsilon_f}{KT} + \left(\frac{5}{2} - s \right) \right] - n\mu_n \left[\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_f}{KT \left(\frac{5}{2} - s \right)} \right) \right]}{p\mu_p + n\mu_n} \right\} \quad (27)$$

O terceiro fenômeno termoelétrico a ser considerado no estado sólido é o efeito Thomson. Como um buraco flui da esquerda para direita na amostra dopada uniformemente mostrada pela Figura 12, ele perde energia potencial de eV_D devido ao fato de residir para o nível de energia mais baixo na banda de valência para extremidade direita. Ao mesmo tempo, porém, ele ganha energia cinética térmica movendo-se acima do gradiente de temperatura estabelecido pelo efeito *Peltier* para extremidade da barra; este ganho na energia térmica é cerca de $2k\Delta T$.

A soma das duas quantidades representa o ganho líquido em energia por portador de carga.

Esta quantidade pode ser positiva ou negativa dependendo da magnitude relativa dos dois termos. Assim, de qualquer uma das duas maneiras, a energia é entregue pela rede cristalina com o conseqüente aquecimento ou resfriamento da amostra.

A magnitude desta troca de energia é dada pelo coeficiente de Thomson, que é definido como positivo se uma corrente positiva flui na direção do gradiente de temperatura positivo aumentando a energia média total dos portadores, desse modo resfriando a amostra.

O coeficiente de Thomson para um semicondutor tipo P com espalhamento acústico pela rede cristalina em volts por grau é:

$$\tau'_P = \frac{-V}{\Delta T} + \frac{2K}{e} \quad (28)$$

2.16 Módulos *Peltier*

Os módulos *Peltier*, também conhecidos como pastilhas termoelétricas (Figura 13), são pequenas unidades que utilizam tecnologia de matéria condensada para operarem na transferência de calor.

Esses módulos são essencialmente um sanduíche de placas cerâmicas recheado com pequenos cubos de Bi_2T_3 (Telureto de Bismuto) e podem operar de diferentes maneiras, individualmente ou agrupados eletricamente em série, paralelo ou série-paralelo. Em algumas aplicações utiliza-se o módulo multiestágios, isto é, módulos termicamente em série para obtenção de uma maior diferença de temperatura ΔT (Figura 16).

Sua operação é baseada no “Efeito *Peltier*”. Quando uma corrente circula pela célula de *Peltier*, o calor é transferido de uma face (TF) para a outra Face (TQ), provocando um aquecimento que deverá ser arrefecido utilizando um dissipador.

Se houver inversão de polaridade e conseqüente inversão do sentido da corrente, então a pastilha se tornará um excelente aquecedor.

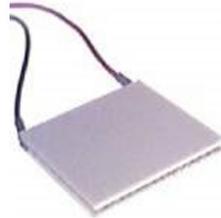


Figura 13 Célula de *Peltier* (Pastilha de *Peltier*).
Fonte: Moura (2010).

Uma típica pastilha de *Peltier* conterà uma série de elementos semicondutores do tipo P e do tipo N, agrupados como pares, que agirão como condutores dissimilares. Essa série de elementos é soldada entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série e termicamente em paralelo.

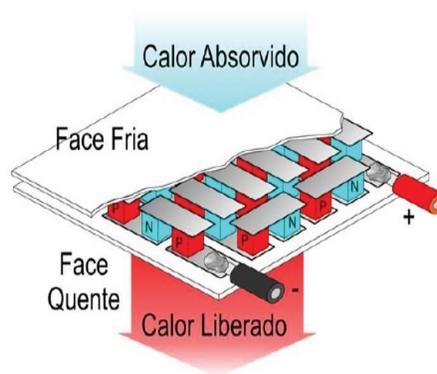


Figura 14 Pastilha de *Peltier* (transferência de calor).
Fonte: Moura (2010).

Quando uma corrente DC passa por um ou mais pares de elementos do tipo N a tipo P há uma redução na temperatura da junção (“lado frio”) resultando em uma absorção no calor do ambiente.



Figura 15 Módulos *Peltier* comerciais único estágio.

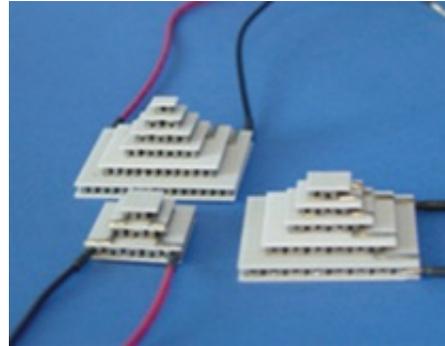


Figura 16 Módulos *Peltier* comerciais múltiplos estágios.

Fonte: Moura (2010).

Este calor é transferido pela pastilha por transporte de elétrons e emitido no outro lado (“quente”) também por estes que movem de um estado alto para um baixo (Figura 14). As células de *Peltier* são comercializadas na configuração de único estágio ilustrada pela Figura 15 e múltiplos estágios, como as apresentadas na Figura 16). A capacidade de transferência de calor é proporcional a corrente e ao número de pares de elementos tipo N e tipo P.

2.17 Protocolo *ZigBee*

De acordo com Pinheiro (2004) e Silva (2007), o protocolo *ZigBee*, lançado em 27 de Junho de 2005, é um protocolo orientado para uma comunicação *wireless* sob o binômio baixo consumo / baixo custo.

Desenvolvido para se tornar uma alternativa de comunicação em redes que não necessitem de soluções mais complexas para seu controle, barateando assim os custos com a aquisição, instalação de equipamentos, manutenção e mão de obra.

Trata-se de uma tecnologia relativamente simples, que utiliza um protocolo de pacotes de dados com características específicas, sendo projetado para oferecer flexibilidade quanto aos tipos de dispositivos que pode controlar.

É suportado sobre a normativa IEEE 802.15.4 (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE, 2003) e surgindo como responsabilidade da *ZigBee Alliance*. Esta aliança, ao agrupar distintas empresas da área tecnológica em questão, revela também um objetivo deste protocolo: a padronização, em detrimento de protocolos proprietários anteriormente existentes (SILVA, 2007).

A especificação do padrão *ZigBee* define as camadas de rede e aplicação e o serviço de segurança entre elas. A definição das camadas física e de acesso ao meio é da responsabilidade da norma IEEE 802.15.4 (MALAFAYA; TOMÁS; SOUZA, 2005).

O protocolo *ZigBee* permite comunicações robustas e opera na frequência ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), sendo na Europa de 868 MHz (1 canal), 915 MHz (10 canais) nos Estados Unidos e 2,4 GHz (16 canais) em outras partes do mundo, e não requerem licença para funcionamento. As Redes *ZigBee* oferecem uma excelente imunidade contra interferências, e a capacidade de hospedar milhares de dispositivos numa Rede (mais que 65.000), com taxas de transferências de dados variando entre 20Kbps a 250Kbps. O Protocolo *ZigBee* é destinado a aplicações industriais, portanto, o fator velocidade não é crítico numa implementação desse tipo.

Os módulos RF padrão *ZigBee*, Figura 17, foram criados para economizar ao máximo energia.

Com isso, é possível criar dispositivos sensores remotos alimentados com pilhas ou baterias comuns, que durarão meses ou mesmo anos sem precisarem ser substituídas. Isso porque, os módulos *ZigBee* quando não estão transmitindo/recebendo dados, entram num estado de hibernação ou em “*Sleep*”, consumindo o mínimo de energia.



Figura 17 Módulos ZigBee.

2.17.1 Topologias *ZigBee*

Em uma Rede *ZigBee* podem ser identificados dois tipos de dispositivos: FFD e RFD.

FFD - *Full Function Device* (Dispositivos de Funções Completas) - são dispositivos mais complexos e precisam de um *hardware* mais poderoso para a implantação da pilha de protocolos, conseqüentemente, consomem mais energia.

Numa topologia de Rede *ZigBee* eles podem assumir o papel de Coordenador, Roteador ou mesmo de um dispositivo final (*End Device*).

Dispositivos FFDs podem se comunicar com quaisquer membros da Rede. são implementados em microcontroladores com no mínimo 32KB de memória de programa e ter certa quantidade de memória RAM, para implementações de tabelas de rotas e configurações de parâmetros.

RFD - *Reduced Function Device* (Dispositivos de Funções Reduzidas) - são dispositivos mais simples, onde sua pilha de protocolo pode ser implementada usando os mínimos recursos possíveis de hardware como, por exemplo, em microcontroladores de 8 bits com memória de programa próxima a 6KB, mas só podem se comunicar com dispositivos FFDs (Coordenador ou Roteador).

Numa topologia de Rede *ZigBee* eles assumem o papel de *End Device* (dispositivo final). Na prática podem ser: interruptores de iluminação, *dimmers*, controle de relês, sensores, entre outros. No padrão *ZigBee* existem três classes de dispositivos lógicos (Coordenador, Roteador e Dispositivo final) que definem a Rede:

ZC - *ZigBee Coordinator* (Coordenador *ZigBee*) - só pode ser implementado através de um dispositivo FFD. O coordenador é responsável pela inicialização, distribuição de endereços, manutenção da Rede, reconhecimento de todos os "nós", entre outras funções podendo servir como ponte entre várias outras Redes *ZigBee*.

ZR - *ZigBee Router* (Roteador *ZigBee*) - só pode ser implementado através de um dispositivo FFD. Tem as características de um nó normal na Rede, mas com poderes extras de também exercer a função de roteador intermediário entre nós, sem precisar do Coordenador.

Por intermédio de um roteador uma Rede *ZigBee* poder ser expandida, e assim ter mais alcance. Na prática um roteador pode ser usado para amplificar o sinal da Rede entre andares de um prédio.

ZED - *ZigBee End Device* (Dispositivo final *ZigBee*) - é onde os atuadores ou sensores serão hospedados. Pode ser implementado através de um dos dispositivos FFD ou RFD. Assim ele é o nó que consome menos energia, pois na maioria das vezes ele fica dormindo (*Sleep*).

2.17.2 Roteamento em uma rede *ZigBee*

Uma rede *ZigBee* pode tomar as seguintes topologias, representadas pela Figura 18:

- Estrela;
- Árvore;
- Malha.

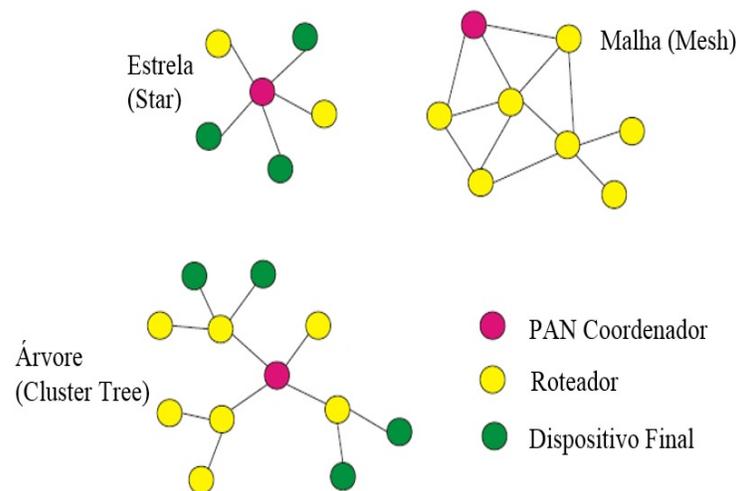


Figura 18 Topologias ZigBee.

Em uma rede estrela, o coordenador atende a um número de *End-devices*, (dispositivos finais) de modo similar a uma rede 802.15.4, já em uma rede árvore possui a presença de roteadores, e podem ser montadas pequenas estrelas (*cluster tree* - árvores). A informação se distribui de forma hierárquica ao longo da árvore até chegar a um destino pré-determinado. Na rede em malha, os roteadores e o coordenador “descobrem” uma rota para o destino da mensagem através de uma série de “*posts*” NWK (nível de roteamento) como uma *route request* e *route replay*.

Se não houver comunicação direta, as mensagens viajam de roteador a roteador até chegar ao seu destino. Os *end-devices* (dispositivos finais) sempre entregam as mensagens ao seu coordenador, que pode ser um roteador ou até mesmo um coordenador de uma rede *ZigBee*, que possui a missão de receber e arquivar as mensagens. Se uma rota falhar é possível que o erro seja detectado, pois o protocolo 802.15.4 é orientado à recepção, o roteador que tem a informação inicia o processo de envio novamente até descobrir uma rota alternativa e a rede converge novamente (CAPRILE, 2009).

2.17.3 Início de uma rede *ZigBee*

De acordo com Caprile (2009), o responsável para iniciar uma rede *ZigBee* é o coordenador de uma rede. Iniciar uma rede *ZigBee* implica em iniciar uma rede 802.15.4. A largura de banda atribuída a 802.15.4 em 2,4 GHz é dividido em 16 canais espaçados de 5MHz cada. A 802.15.4 utiliza um destes canais para operar em todo o tráfego de uma rede *ZigBee* que ocorre dentro de um único canal, compartilhando a mesma largura de banda.

O procedimento que faz com que o coordenador inicie uma rede consiste em medir a energia em cada um dos canais e eleger o mais silencioso. A partir desse momento inicia-se o processo de pesquisa ativa (*active scan*), no qual emitem quadros 802.15.4 *beacon request* e monta uma lista de PAN IDs encontrados, a fim de eleger um identificador não utilizado, ou usa o que ele tiver acionado, se for o caso.

Em seguida, atribui-se o endereço de rede 0x0000 e entra em espera. Se a rede é do tipo farol, começa a transmitir quadros de sinalização 802.15.4.

2.18 Sistemas automatizados para controle climático e seus periféricos

As mudanças no perfil do empresário rural, forçado a migrar para um modelo empresarial de gestão da propriedade trouxeram para o seguimento avícola a necessidade de um controle de todas as etapas do processo produtivo. Com isso, cresceu a demanda por sistemas de controle e automação no setor avícola.

Os sistemas automatizados para controle de clima surgiram como uma alternativa para suprir a necessidade de monitorar e supervisionar o funcionamento de sistemas físicos de forma segura, rápida e independente da presença humana. O processo de controle e monitoramento, além de manter o controle dos índices climáticos, visa também automatizar o registro de ocorrências num dado sistema, bem como alertar o empresário rural em caso de situações excepcionais. Com estes sistemas é possível em tempo real realizar uma maior variedade de variáveis na aquisição de dados, bem como um maior número de componentes a serem monitorados. Dessa forma, é possível estabelecer uma melhor supervisão das tarefas rotineiras e respostas em tempo real sobre as condições do ambiente.

De acordo com Dally, William e McConnell (1993) e Silva e Moraes (2002), a automação no controle e supervisão de sistemas tem gerado grandes avanços, pois por meio de sensores remotos é possível o acesso às condições climáticas em tempo real e, portanto, a tomada rápida de decisões. Os dados obtidos podem ser empregados para estimar o nível de estresse dos animais, o teor de gases no interior do galpão, velocidade do vento, entre outros parâmetros.

Diversas tarefas rotineiras de um galpão de criação de aves podem ser controladas por meio da automação. É possível também a execução de tarefas que antes eram difíceis ou impossíveis de serem realizadas. Em face da complexidade destes sistemas, é exigido maior grau de controle e maior quantidade de informações acerca do sistema monitorado (SILVA; MORAES, 2002).

Um sistema de controle e automação ideal deveria possibilitar a coleta de informações por meio de diversos sensores e dispositivos para aquisição de dados, com características para processar e armazenar informações.

2.19 Sensores

De acordo com Zerger et al. (2010), sensor é um dispositivo eletrônico utilizado em sistemas de automação responsável em mensurar uma quantidade física e convertê-la em um sinal que possa ser lido e/ou interpretado por um observador ou por um instrumento. Sistemas automatizados são basicamente leitores automáticos de informações, que no caso são fornecidos pelos sensores por um sinal elétrico, proporcional à variação de grandezas físicas, tais como umidade relativa, temperatura do ambiente, intensidade luminosa, entre outros (SILVA, 2000).

Portanto a variação da temperatura de uma junção bimetálica pode também afetar a diferença de potencial oferecida, caracterizando um termopar. Contudo, pequenas interferências como a quantidade de vapor de água no ar podem afetar o sinal de um dispositivo eletrônico, possibilitando uma relação entre um sinal elétrico e a umidade relativa do ar (PIRES; AFONSO; CHAVES, 2006).

2.19.1 Sensores de temperatura

Há diversos tipos de sensores de temperatura que podem ser utilizados para manter o controle térmico em galpões de frangos de corte. Atualmente, os dois modelos mais utilizados são os termopares e os termômetros de resistência.

O termopar é um transdutor que compreende dois pedaços de fios dissimilares, unidos em uma das extremidades, e que geram uma diferença de potencial entre duas junções, sendo uma a temperatura constante que serve como referência e outra a temperatura que se deseja medir (ZERGER et al., 2010).

Termômetros de resistência ou termorresistores são sensores de alta precisão e excelente repetibilidade de leitura. O seu funcionamento se baseia na variação da resistência ôhmica em função da temperatura. Seu elemento sensor na maioria das vezes é constituído de platina com o mais alto grau de pureza e encapsulado em bulbos de cerâmica ou vidro (PIRES; AFONSO; CHAVES, 2006; SILVA, 2000).

Os termorresistores dentro de sua faixa de utilização são mais precisos e estáveis que os termopares e por serem protegidos com bulbo de vidro, são mais utilizados em ambientes industriais. Dessa forma, para a monitoração da temperatura absoluta do ar (T_{bs}) e a temperatura de globo negro (T_{gn}), no interior dos galpões das aves poderá ser utilizado um sensor do tipo termopar.

2.19.2 Sensor de umidade

Umidade relativa do ar descreve a quantidade de vapor de água contida numa dada porção de atmosfera. A monitoração desse parâmetro é feita normalmente por psicômetros, higrômetros e registrada por hidrógrafos, embora, atualmente, existam sensores eletroeletrônicos que também permitem o monitoramento da umidade instantânea ou contínua, quando o controle é feito por sistema de automação (ZERGER et al., 2010).

Uma alternativa para mensurar a umidade de forma mais precisa é utilizar sensores digitais mais modernos.

Esses sistemas oferecem muitas vantagens em relação aos sistemas analógicos, pois um sinal digital é menos sensível às interferências eletromagnéticas pois é possível implementar algoritmos de regeneração do sinal, além disso, o protocolo de comunicação estabelece mecanismo que permite detectar e corrigir erros de transmissão (SILVA, 2000).

2.20 Microcontroladores PIC

Para que um sistema de automação e controle possa monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico com segurança, de forma automática e em tempo real, é necessário o uso de uma ou mais CPUs (Unidade Central de Processamento) (REBELLO JUNIOR, 2004).

Dessa forma, definida a necessidade de se empregar um elemento processador no sistema, agora, em função de custo e a complexidade do sistema de controle, basta definir qual plataforma utilizar. Comercialmente, há diversas plataformas disponíveis, entre elas, CLPs (Controladores Lógico Programáveis), FPGAs (*Field-Programmable Gate Array*), DSPs (*Digital Signal Processing*), sistemas embarcados ou não, entre outras.

A escolha do centro de controle do sistema deve se dar a partir de um compromisso entre as diversas exigências do projeto e as características do elemento processador, como o custo, capacidade de processamento, memória, linguagem de programação disponível, capacidade de atuar em sistemas de controle e automação em tempo real, consumo de energia, entre outras (IBRAHIM, 2010).

De acordo com Erdem (2010), a grande vantagem de utilizar microcontroladores é que estes chegam a custar muitas vezes menos que um simples semicondutor, um transistor, por exemplo, e por se tratar de um circuito integrado (CI), possui uma poderosa CPU capaz de processar inúmeras informações de uma me-

mória ou de um periférico, ou mesmo inúmeros cálculos em um curtíssimo espaço de tempo.

Em termos gerais, os microcontroladores se caracterizam por incorporar no mesmo encapsulamento (CI) um microprocessador, memória de programa e dados, interface de entrada/saída de dados e vários periféricos.

Entre os periféricos estão temporizadores/contadores, *watchdog* programável, interface para comunicação serial, conversores A/D (Analogico/Digital), geradores de PWM, entre outros. Em síntese, são computadores com alto desempenho encapsulados em um único CI (WILMSHURST, 2007).

Para o sistema de automação e controle proposto neste trabalho, os microcontroladores se apresentam como uma das alternativas de menor custo, confiabilidade satisfatória, simplicidade, menor tempo de desenvolvimento, menor consumo de energia e possibilidade de utilizar uma linguagem de programação de alto nível além de propiciar condições de implementação de um sistema capaz de ajustar a temperatura da água de bebida em uma temperatura de conforto para os animais.

2.21 Arquitetura do sistema de controle e automação

Um sistema genérico para controlar automaticamente o clima no interior de galpões de frangos de corte por meio dos índices de ambiente térmico, utiliza uma malha de realimentação, pela qual, cada variável a ser controlada e monitorada tem seu valor comparado com um valor de referência, gerando um sinal de controle que busca minimizar a diferença entre dois valores. A Figura 19 mostra um sistema de controle climático genérico.

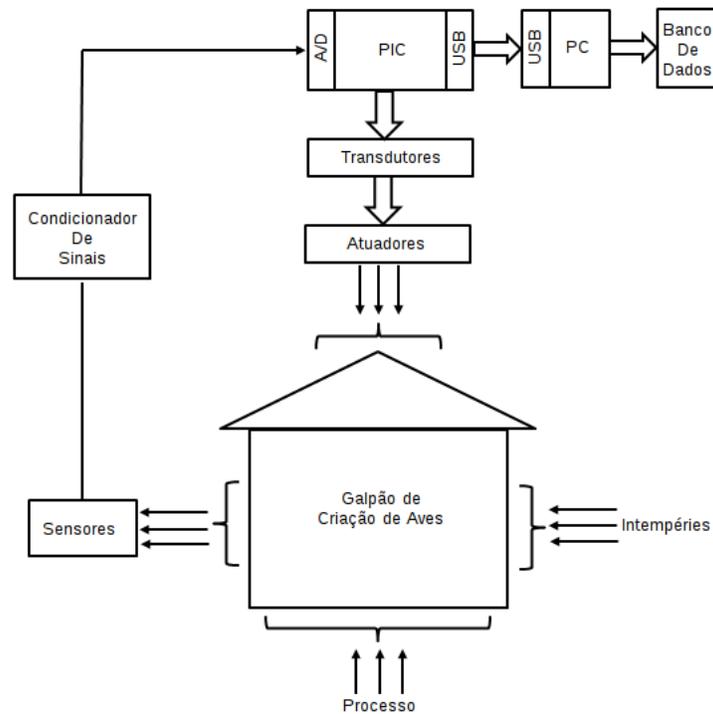


Figura 19 Sistema de controle climático genérico.

Esquemáticamente o sistema pode ser dividido da seguinte forma:

a) Processo: representa o galpão para criação de aves e as variáveis a serem controladas. Por exemplo: temperatura ambiente, temperatura da água de bebida pelas aves, umidade relativa do ar, concentração de gases, velocidade do vento, entre outros.

b) Sensores: dispositivos que realizam a medição dos valores das variáveis controladas no sistema. Exemplo: sensor de temperatura, de umidade, entre outros.

c) Transdutores: dispositivos que fazem a adequação dos valores das variáveis medidas por um sensor, amplificando ou atenuando os sinais de tal forma que sejam possíveis de serem medidos (no caso das entradas) ou acionados (no caso de uma saída).

d) Atuadores: recebem os sinais fornecidos pelos transdutores e agem sobre o meio físico, visando manter as variáveis controladas dentro dos limites desejados. Exemplo: controle de umidade e temperatura.

e) PIC: elemento microcontrolado que implementa a comparação o valor atual das variáveis a controlar, fornecido pelos sensores, com o valor de referência, e executa o algoritmo de controle. Emite os sinais de saída para os transdutores e atuadores visando corrigir o valor da variável para que os erros sejam os mínimos possíveis.

f) Intempéries: representa todo tipo de perturbações vinda do meio ambiente. Exemplo: variações bruscas da temperatura, velocidade do vento, ruídos entre outras.

g) PC: estação de trabalho responsável em processar, executar cálculos matemáticos, armazenar em um banco de dados, registrar e emitir relatórios das ocorrências do sistema de controle e automação.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este trabalho está estruturado na forma de artigos científicos. Serão apresentados a seguir três artigos com as metodologias empregadas e também os resultados e conclusões de cada etapa do trabalho.

REFERÊNCIAS

AHRENS, D. C. **Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere.** 4th ed. Belmont: Cengage Learning, 2005. 506 p.

ALLEONI, A. C. C.; ANTUNES, A. J. Unidade Haugh como medida da qualidade de ovos de galinha armazenados sob refrigeração. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 681-685, 2001.

AMARAL, L. A. Drinking water as a risk factor to poultry health. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 6, n. 4, p. 191-194, 2004.

AMARAL, L. A. et al. Qualidade higiênico sanitária e demanda de cloro da água de dessedentação de galinhas de postura coletadas em bebedouros tipo taça e nipple. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 3, p. 249-255, 2001.

ANGRIST, S. W. **Direct energy conversion.** 3rd ed. Boston: Allyn and Bacon, 1977. 468 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUÇÃO ANIMAL. **Relatório anual 2015.** Disponível em: <http://abpa-br.com.br/files/RelatorioAnual_UBABEF_2015_DIGITAL.pdf>. Acesso em: 10 maio 2015.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais, conforto animal.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 246 p.

BAIÃO, N. C. Efeitos da alta densidade populacional sobre o ambiente das instalações avícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÕES NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, São Paulo. **Anais...** Campinas: FACTA, 1995. p. 67-75.

BARROS, L. S. S.; AMARAL, L. A.; ROSSI JUNIOR, O. D. Aspectos microbiológicos e demanda de cloro de amostras de água de dessedentação de frangos de corte coletadas em bebedouros pendulares. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 193-198, 2001.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: UFLA, 2012. 373 p.

BUENO, L. G. F. **Avaliação da eficiência energética e do conforto térmico em instalações de frango de corte**. 2004. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BUTCHER, G. D.; MILES, R. **Concepts of eggshell quality**: fact sheet VM-69. Florida: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1990. 3 p.

CAPRILE, S. R. **Equisbí**: desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y 802.15.4. Buenos Aires: Gran Aldea, 2009. 362 p.

CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University, 1983. 410 p.

DALLY, J. W.; WILLIAM, F. R.; McCONNELL, K. G. **Instrumentation for engineering measurements**. 2nd ed. New York: J. Wiley, 1993. 584 p.

DESHAZER, J. A.; BECK, M. M. **University of Nebraska Report for Northeast regional poultry project NE-127**. Lincoln: Agricultural Research Division, University of Nebraska, 1988.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979. 928 p.

EL-HADI, H.; SYKES, A. H. Thermal panting and respiratory alkalosis in the laying hen. **British Poultry Science**, London, v. 23, p. 49-54, 1982.

ERDEM, H. Implementation of software-based sensor linearization algorithms on low-cost microcontrollers. **ISA Transactions**, Pittsburgh, v. 49, n. 4, p. 552-558, 2010.

ESMAY, M. L.; DIXON, J. E. **Environmental control for agricultural buildings**. West port: AVI, 1986. 287 p.

FABRÍCIO, J. R. Influência do estresse calórico no rendimento da criação de frango de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Apinco, 1994. p. 129-133.

FASSANI, E. J. et al. Manganês na nutrição de poedeiras no segundo ciclo de produção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 468-478, abr./jun. 2000.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: Agra FNP, 2013. 261 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world fisheries and aquaculture**. Rome, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/fishery/sofia/en>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

FUQUAY, J. W. Heat stress as it affects animal production. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 52, p. 164-174, 1981.

GARCIA, L. A. F. **Economias de escala na produção de frangos de corte no Brasil**. 2004. 132 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.

GERNAT, A. G.; ADAMS, A. W. Effect of number of hens per nipple waterer on the performance of several strains of layers in cages. **Poultry Science**, Champaign, v. 71, p. 1292-1295, 1992.

GERNAT, A. G.; ADAMS, A. W. Effect of number and location of nipple waterers and cage shape on the performance of caged layers. **Poultry Science**, Champaign, v. 69, p. 2086-2091, 1990.

IBRAHIM, D. PIC18F microcontroller series. In: _____. **SD card projects using the PIC microcontroller**. Boston: Newnes, 2010. p. 41-105.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE 802.15.4 standard report**: wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). New York, 2003. 679 p.

KELLERUP, S. U.; PARKER, J. W.; ASCOTT, G. H. Effect of restricted water consumption on broiler chickens. **Poultry Science**, Oxford, v. 44, p. 78-85, 1965.

KITTEL, C. **Introduction to solid state physics**. 5th ed. New York: Wiley, 1975. 599 p.

KLOSOWISK, E. S. et al. Bebedouros para poedeiras semipesadas no verão. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 10, n. 2, p. 379-389, abr./jun. 2009.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Commercial poultry nutrition**. 2nd ed. Ontário: University Books Guelp, 1997. 356 p.

MACARI, M.; FURLAN, R. L. Ambiência na produção de aves em clima tropical. In: SILVA, I. J. O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Jaboticabal: SBEA, 2001. p. 31-87.

MALAFAYA, H.; TOMÁS, L.; SOUZA, J. P. Sensorização sem fios sobre zigbee e ieee 802.15.4. In: JORNADAS DE ENGENHARIA E ELECTRÓNICA E TELECOMUNICAÇÕES E DE COMPUTADORES, 3., 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2005. 1 CD-ROM.

MILLIGAN, J. L.; WINN, P. N. The influence of temperature and environmental chamber. **Poultry Science**, Champaign, v. 43, n. 3, p. 817-824, May 1996.

MOURA, D. J. Ambiência na produção de aves de corte. In: SILVA, I. J. O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: SBEA, 2001. v. 2, p. 75-149.

MOURA, D. J. et al. Animal welfare concepts and strategy for poultry production: a review. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 137-148, 2006.

MOURA, J. A. de S. **Filmes nanométricos de Fen e Aln crescidos por Sputtering e aplicações do efeito Peltier**. 2010. 140 f. Tese (Doutorado em Física da Matéria)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

NÃÃS, I. A. Bem-estar na avicultura: fatos e mitos. **Revista AveWorld**, Campinas, v. 10, p. 4-8, ago./set. 2005.

NÃÃS, I. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989. 183 p.

NASCIMENTO, S. T. et al. Estudos preliminares de tolerância ao estresse térmico de duas linhagens comerciais de frangos de corte na sexta semana de produção. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 18.; CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ZOOTECNIA, 2., 2009, Vila Real. **Anais...** Vila Real, 2009. p. 474-477.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Recommended nutrient allowances for poultry**. Washington, DC: National Academy Press, 1994. 176 p.

NILIPOUR, A. H.; BUTCHER, G. D. Water: the cheep, plentiful and taken for granted nutrient. **World Poultry**, Surrey, v. 14, n. 1, p. 26-27, 1998.

NOLAS, G. S.; GOLDSMID, H. J. J. A comparison of projected thermoelectric and thermionic refrigerators. **Applied Physics**, New York, v. 85, n. 8, p. 4066-4068, Aug. 1999.

OLIVEIRA, R. F. M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 797-803, 2006.

PARAGASSU, A. C. Simpósio OvoSite: produtor de ovos precisa conhecer sua importância e melhorar a relação de troca com o varejo. **Revista do Ovo**, Campinas, ano 3, n. 21, p. 9, set./out. 2013.

PATRICK, H.; SCAIBLE, P. J. **Poultry: feeds and nutrition**. Westport: Avi, 1980. 668 p.

PEREIRA, C. C. J. **Fundamentos de bioclimatologia aplicada à produção animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195 p.

PINHEIRO, J. M. S. **As redes com ZigBee**. 2004. Disponível em: <<http://www2.eletronica.org/artigos/eletronica-digital/as-redescom-zigbee>>. Acesso em: 10 jun. 2013.

PIRES, D. P. L.; AFONSO, J. C.; CHAVES, F. A. B. A temperatura nos séculos XIX e XX. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 101-114, mar. 2006.

RAMOS, N. C.; GERNAT, A. G.; ADAMS, W. Effects of cage, shape, age at housing and types of rearing and layer waterers on the productivity of layers. **Poultry Science**, Champaign, v. 69, p. 217-223, 1990.

REBELLO JUNIOR, C. J. **Sistema de aquisição de dados agrometeorológicos baseado no microcontrolador BASIC Step**. 2004. 53 p. Monografia (Graduação em Ciências da Computação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

REECE, F. N. et al. Meal feeding and broiler performance. **Poultry Science**, Champaign, v. 65, n. 12, p. 1497-1501, Dec. 1986.

RÊGO, I. O. P. et al. Influência do período de armazenamento na qualidade do ovo integral pasteurizado refrigerado. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 64, n. 3, p. 735-742, 2012.

ROBERTS, J. R. S. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. **Journal of Poultry Science**, Shinshu, v. 41, n. 3, p. 161-177, Dec. 2004.

ROWE, D. M. **CRC handbook of thermoelectrics**. Boca Raton: CRC, 1995. 701 p.

SARTORI, J. R.; GONZALES, E.; DAL PAI, V. Effect of environmental temperature and feed restriction on the performance and composition of the skeletal muscle fibers in broilers. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 1779-1790, 2001.

SILVA, A. T. da. **Módulos de comunicação wireless para sensores**. Porto: Universidade do Porto, 2007. 84 p.

SILVA, K. O. **Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de umidade e temperatura do ar**. 2000. 70 f. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SILVA, R. C. et al. Força de ruptura da casca do ovo em função das temperaturas da água e do ambiente. **Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior**, Brasília, DF, v. 27, n. 1, p. 13-18, 2012.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 285 p.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Boston, v. 12, n. 1, p. 57-60, 1959.

TIMMONS, M. B.; GATES, R. S. Predictive model of laying hen performance to air temperature and evaporative cooling. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 31, n. 5, p. 1503-1509, Sept./Oct. 1988.

TINÔCO, I. F. F. Conforto ambiental para aves: ponto de vista do engenheiro. In: SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 2., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1996. p. 47-56.

TOGASHI, C. K.; ANGELA, H. L. Efeitos do tipo de bebedouro sobre a qualidade da água e o desempenho e a qualidade dos ovos de poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 8, p. 1450-1455, 2008.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. Disponível em: <http://www.abef.com.br/portal/_clientes/abef/cat/Anuario_baixa_Resolucao.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2010.

UNIÃO BRASILEIRA DOS AVICULTORES. **Relatório anual 2012**. Disponível em: <<http://www.abef.com.br/ubabef/exibenoticiaubabef.php?notcodigo=3293>>. Acesso em: 14 out. 2012.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Relatório anual 2014**. Disponível em: <<http://www.uba.org.br>>. Acesso em: 20 maio 2014.

VALIAS, A. P. G. S.; SILVA, E. N. Estudo comparativo de sistemas de bebedouros na qualidade microbiológica da água consumida por frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 83-89, 2001.

WILMSHURST, T. **Designing embedded systems with pic microcontrollers: principles and applications**. London: Elsevier, 2007. 556 p.

WORLD POULTRY. **Ranking the world's major egg producers.** 2012.
Disponível em: <<http://www.worldpoultry.net/Home/General/2012/1/Ranking-the-worlds-joregg-producers-WP009929W/>>. Acesso em: 13 out. 2012.

YOUSEF, M. K. **Stress physiology in livestock.** Boca Raton: Poultry CRC, 1985. v. 2, 159 p.

ZANOLLA, N. **Sistema de ventilação em túnel e sistema de ventilação lateral na criação de frangos de corte em alta densidade.** 1998. 81 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

ZERGER, A. et al. Environmental sensor networks for vegetation, animal and soil sciences. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 12, n. 5, p. 303-316, 2010.

ZULOVICH, J. M.; DESHAZER, J. A. **Estimative egg production declines at high environmental temperatures and humidities.** Saint Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1990. 34 p. (Paper, 90.4021).

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

BEBEDOURO REFRIGERADO TIPO *NIPPLE* PARA CRIAÇÃO ANIMAL UTILIZANDO EFEITO PELTIER

RUFINO, C.A¹; RABELO, G. F²; GERALDO, A³.

¹Eng. de Telecomunicações, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - MG, carlos.rufino@posgrad.ufla.br.

²Eng. Eletricista, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras - MG.

³Zootecnista, Prof. Doutor, Departamento de Ciências Agrárias - IFMG - Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus Bambuí* - MG.

RESUMO

Objetivou-se neste presente trabalho o desenvolvimento de um bebedouro refrigerado com temperatura controlada tipo *nipple* para fornecimento de água de bebida aos animais, neste caso aves, porém pode ser adotado para diferentes animais com pequenas alterações de projeto. O bebedouro é constituído por um conjunto mecânico que é composto por um trocador de calor todo em alumínio e que possui uma célula de *Peltier* como elemento principal de transferência de calor da água para o ambiente externo. Um dissipador de calor acoplado a um ventilador ajuda na redução da temperatura da face quente e conseqüente transferência de calor para o ambiente externo. A transferência de calor se dá através de uma célula *Peltier* que é incorporada a um sistema mecânico que integra um trocador de calor adaptado a uma saída tipo *nipple* onde a ave tem acesso a água refrigerada. O conjunto mecânico pode ser acoplado diretamente na linha de distribuição principal de água através de um simples furo de 1/2" onde é acoplado o conjunto. Uma placa eletrônica que utiliza um microcontrolador foi desenvolvido para realizar o controle da temperatura da água de bebida através de um controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo), que mantém a temperatura da água sob controle. Para a sintonia das ações de controle do controlador foi utilizado o método empírico *Ziegler-Nichols*. A placa pode se comunicar via comunicação sem fios (*wireless* utilizando o protocolo *ZigBee*) a um servidor que deve ter instalado o programa intitulado ControlMax registrado no INPI sob o "BR 51 2013 001129

9” especialmente desenvolvido para esta aplicação. Os dados recebidos de cada bebedouro pelo servidor são armazenados em um banco de dados para posterior consulta. A média dos valores do desvio entre a temperatura interna da água refrigerada medida e o valor do *setpoint* foi calculado e ficou em torno de 0,4°C.

Palavras-chave: Controle PID. Bebedouro. *Nipple*. Célula. *Peltier*.

FOUNTAIN REFRIGERATED TYPE NIPPLE FOR ANIMAL BREEDING USING PELTIER EFFECT

ABSTRACT

The aim of this present study the development of a water cooler refrigerated temperature controlled type nipple for water supply drink to animals, birds in this case, but may be used for different animals more with small design changes. The cooler consists of a set Mechanical along which it consists of an all aluminum heat exchanger and It has a Peltier element as the primary heat transfer water to the external environment. A heat sink coupled to a fan helps in reducing the temperature of the hot face and the consequent transfer heat to the external environment. Heat transfer takes place through a cell Peltier which is incorporated into a mechanical system incorporating a heat exchanger adapted to an output type nipple where the bird has access to chilled water. Mechanical assembly can be coupled directly to the main distribution line Water pal through a simple 1/2" bore which is coupled to the set adapts perfectly to the hole. An electronic card that uses a microcontroller pain has been developed to make control of drink water temperature by a PID controller (Proportional, Integral and Derivative), which keeps the temperature of water under control. To the tune of driver control actions it used the method Ziegler-Nichols empirical. The board can communicate via wireless communication (wireless using the ZigBee protocol) to a server that you must have installed the program entitled ControlMax registered with INPI under the "BR51 2013 001129 9" specially developed for this application. The data received of each trough by the server are stored in a database for future reference. The average of the deviation values between internal temperature Chilled measured and the setpoint value water was calculated and was around 0.4 °C.

Keywords: Control PID. Drinking. Fountain. Nipple. Cell. Peltier.

1 INTRODUÇÃO

A exemplo de Brasil, em climas tropicais e subtropicais, os elevados valores de temperatura de bulbo seco do ar (Tbs) se encontram entre os principais fatores que interferem negativamente na produção de frangos de corte e na qualidade da casca dos ovos em galinhas poedeiras (TINÓCO, 1996). Frangos de corte acima de 6 semanas de vida se adaptam melhor a ambientes frios, visto que seu sistema termorregulador é mais adequado para reter calor do que para dissipá-lo.

Um fator relevante a ser considerado na cadeia produtiva é a concentração da produção de aves e ovos em regiões localizadas na faixa classificada como tropical do planeta devido as melhores condições ambientais para o desenvolvimento de animais e plantas. Assim as elevadas temperaturas encontradas em diferentes regiões, em particular na região nordeste do Brasil, propiciam muitas vezes modificações nas práticas de manejo que devem ser adotadas pelas granjas a fim de atingirem o máximo de desempenho animal. Portanto, nota-se que, tanto para poedeiras como para frangos de corte quando expostas a estresse térmico por elevadas temperaturas, as aves apresentam um aumento no consumo de água, diminuição no consumo de ração e, em consequência, redução no ganho de peso e piora na conversão alimentar (BUENO, 2004).

A água é um nutriente essencial requerido em maior quantidade em galinhas poedeiras e aves de corte. Quando submetidas a estresse térmico, também provoca aumento na frequência respiratória, provocando a alcalose respiratória que em galinhas poedeiras afeta o processo de fixação do cálcio na casca do ovos, e no caso de aves de corte a redução no consumo da ração e consequente piora em seu desenvolvimento fisiológico (CURTIS, 1983; NASCIMENTO et al., 2009; SILVA et al., 2012).

Na avicultura industrial é fundamental o uso da água de boa qualidade, o uso racional de água e a temperatura adequada, pois são fatores fundamentais para obtenção de bons índices zootécnicos. Recomenda-se que a água de bebida esteja a uma temperatura $\approx 20^{\circ}\text{C}$ para prover a redução da temperatura corporal (MARCARI; FURLAN, 2001). O uso de água de qualidade duvidosa pode prejudicar os índices zootécnicos (TABLER, 2003), promover a disseminação de enfermidades que acarretam graves prejuízos econômicos (GAMA, 2005), além de acarretar agentes patogênicos causadores de enfermidades de interesse na área de saúde pública (BARROS; AMARAL; ROSSI JUNIOR, 2001).

A água de bebida tem papel fundamental para o bom desempenho produtivo e o tipo de bebedouro adotado contribui significativamente para o sucesso deste desempenho.

A indústria de equipamentos avícolas vem desenvolvendo bebedouros cada vez mais eficientes, dentre os tipos de bebedouros disponíveis no mercado para criação de aves, destacam-se os tipos chupeta (*nipple*) para aves de corte e tipo taça para galinhas poedeiras.

Estudos mostram a influência da temperatura da água de bebida no desenvolvimento fisiológico das aves e associam ao tipo de bebedouro empregado, há informações sobre a qualidade microbiológica e a incidência de doenças na avicultura ((AMARAL, 2004; AMARAL et al., 2001; BARROS; AMARAL; ROSSI JUNIOR, 2001; VALIAS; SILVA, 2001) ou sobre o manejo dos equipamentos (GERMAT; ADAMS, 1990, 1992; RAMOS; GERNAT; ADAMS, 1990), mas ainda há carência de estudos que avaliam a influência do tipo de bebedouro sobre o desempenho das aves e a qualidade da água ingerida.

Estudos mostram a superioridade do bebedouro tipo *nipple* sobre os demais disponíveis no mercado quanto a sanidade da água provida por estes dispositivos, o que justifica a escolha deste tipo de bebedouro para o presente trabalho.

Objetivou-se com este estudo o desenvolvimento de um bebedouro refrigerado tipo *nipple* da água de bebida animal baseado no efeito *Peltier* aplicado à criação industrial de aves.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho foi utilizado o programa Proteus versão ISIS 7.2 SP2 Professional na sua versão demonstração para modelagem e simulação do sistema proposto, o projeto e simulação dos circuitos eletrônicos, software executivo, controle dos periféricos ligados ao microcontrolador PIC, controle da temperatura da água de cada bebedouro, protocolo de comunicação entre cada dispositivo final e do servidor e banco de dados.

Foi utilizado o programa *Solid Works* 2012 na sua versão estudante para desenvolvimento de todos os dispositivos mecânicos. Para a aquisição de dados o *datalogger Yokogawa Electric Corporation* modelo *Dirwin "IMDC 100-01 E"* foi utilizado.

O sistema de aquisição de dados foi configurado para coletá-los em intervalos regulares de 30s; uma fonte Minipa modelo MPL 3303 M foi utilizada para alimentar o sistema de controle; para o desenvolvimento dos diagramas eletrônicos e *layout* das placas de circuito impresso foi utilizado o programa *Eagle* versão 7.5.0 na sua versão estudante.

A Figura 20 ilustra o *layout* que poderá ser utilizado para implantação a campo do projeto. Neste *layout*, três grupos (MD1, MD2 e MD3), contendo seis bebedouros tipo *nipple* em cada um destes grupos que poderão operar em três temperaturas distintas e controladas. Este sistema permite simular os efeitos da temperatura da água de bebida para cada uma das condições de estresse e conforto já citadas anteriormente.

Cada bebedouro é capaz de resfriar a água de acordo com a necessidade, uma célula de *Peltier* será responsável em retirar energia térmica do sistema (resfriar) dependendo da temperatura de ajuste (*setpoint*). Outro circuito eletrônico é

capaz de medir a temperatura e umidade relativa do ambiente interno do galpão de criação das aves.

Todos os bebedouros e o circuito de medição de umidade e temperatura ambiente replicam as informações em intervalos de tempos regulares e ajustáveis das variáveis, como a temperatura de água de bebida de cada bebedouro, temperatura e umidade relativa ambiente utilizando-se como meio de transmissão uma rede de comunicação sem fios operando no padrão IEEE 815.2.4 (ZIGBEE) para um servidor, que recebe todas as informações e armazena em um banco de dados desenvolvido em *Microsoft Access*.

Cada bebedouro possui uma placa de controle que será carregado com um programa desenvolvido em linguagem *C++* onde fará o controle de temperatura da água de bebida em malha fechada conforme ilustra a Figura 20, usando como base de controle o PID - (Proporcional, Integral e Derivativo). A saída de controle de cada bebedouro será modulada em PWM - (Modulação por Largura de Pulso).

Para realizar a simulação em questão será utilizado o microcontrolador PIC 18F877A da Microchip que executa as instruções contidas no programa responsável pelo controle e automação do sistema de controle, conforme ilustra o fluxograma representado na Figura 21. O software utilizado para gravar as instruções de programa no microcontrolador PIC foi desenvolvido na linguagem C utilizando como compilador o MikroC 8.2 da Fabricante Mikroeletrônica.

O acionamento dos atuadores responsáveis por assegurar o controle das variáveis controladas, (Fig. 20), pode ser representado pelo modelo genérico de controle por realimentação ilustrado na (Fig. 21)(LHOTE; CHAZELET; DULMET, 1999).

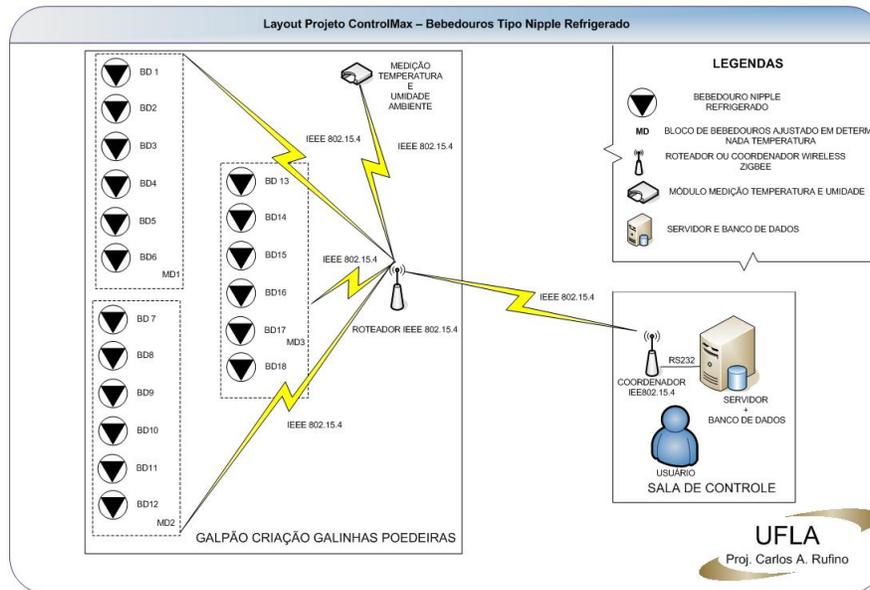


Figura 20 *Layout* projeto bebedouro refrigerado utilizando célula de *Peltier*

No modelo de controle genérico da (Fig. 21) tem-se: $x(t)$ que representa os valores das variáveis obtidos pelos sensores e adequados se necessário; $r(t)$ representa o valor de referência para cada temperatura de água de bebida, $e(t)$ representa o desvio, também conhecido por erro, isto é, a diferença entre o sinal de referência $r(t)$ e o valor atual da variável $y(t)$.

O sinal $u(t)$ é o sinal de saída gerado pelo microcontrolador (PIC) com a finalidade de corrigir a variável $y(t)$ influenciada pela perturbação “P”, com objetivo de torná-la mais próxima ao valor de referência $r(t)$. O servidor foi desenvolvido utilizando o compilador *C++ Builder* que realizará todos os cálculos matemáticos, comunicação com cada elemento da rede *wireless ZigBee*, indicando cada variável em um sinótico em forma de telas em um monitor de vídeo, o armazenamento das variáveis será feito em um banco de dados.

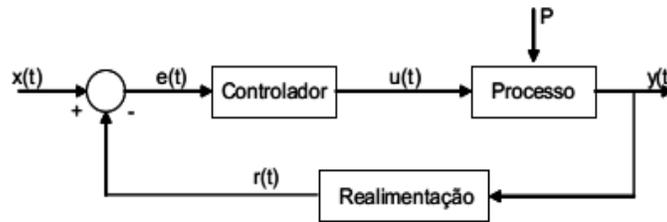


Figura 21 Sistema de controle genérico em malha fechada.

Fluxograma das instruções de controle do *hardware*

O programa na linguagem C gravado no PIC com as instruções necessárias para fazer o controle automático das variáveis no ambiente térmico será implementado no PIC 16F877A da Microchip de acordo com o fluxograma simplificado mostrado na Figura 22.

Acionamento e controle do *hardware*

O controle da temperatura de cada bebedouro será feito de forma automática pelo microcontrolador (PIC) por meio da variável temperatura_agua_beb, um outro sensor de temperatura será instalado medindo a temperatura da água antes do controle verificando a necessidade de aquecimento ou resfriamento (temp_agua_amb) em cada bebedouro seguindo a topologia de controle mostrada na Figura 20.

Em intervalos regulares de 2 segundos a placa de controle de cada bebedouro envia as informações ao servidor da temperatura atual, estas informações serão recebidas e armazenadas em um banco de dados.

Um módulo de medição de temperatura e umidade poderá ser utilizado. Os valores das variáveis temperatura e umidade serão obtidos por meio de sensores programados para coletar variações em intervalos de 1ms.

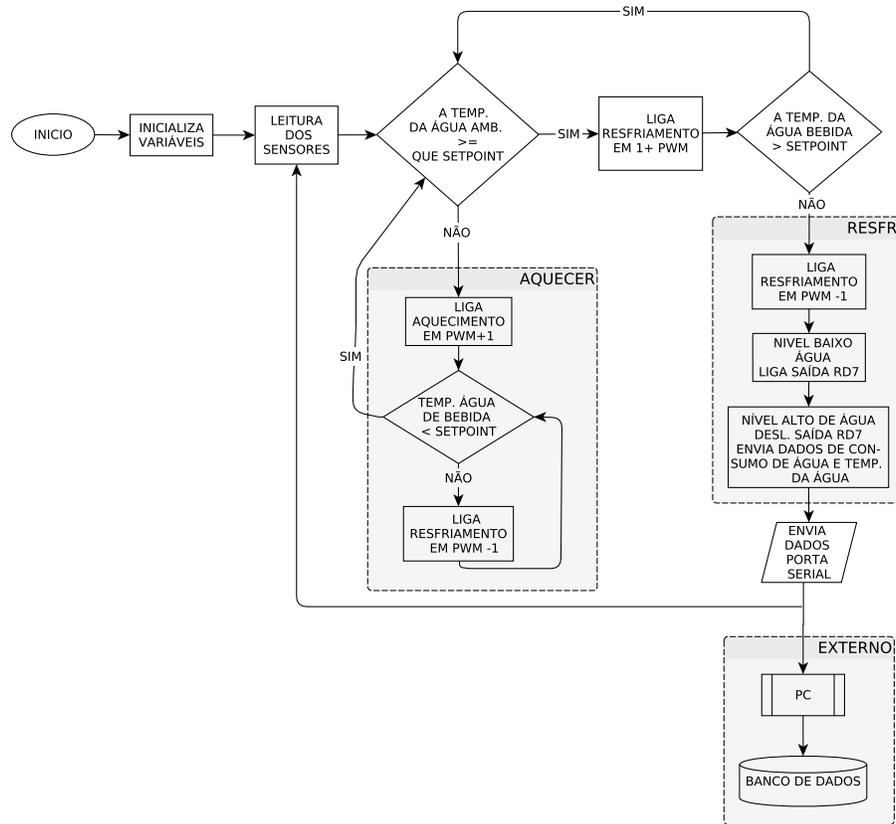


Figura 22 Fluxograma das instruções de programa do microcontrolador simplificado.

A simulação para cada sensor seguirá a topologia da Figura 20 nas condições seguintes:

- temperatura e umidade ambiente serão obtidos por um sensor DHT11 que integra um sensor de temperatura, umidade e uma interface comunicação serial em um único módulo;
- um microcontrolador 16F628A faz uma indicação local das variáveis medidas por um display de cristal líquido e replicará estes valores ao servidor por meio de comunicação sem fios;

- c) um módulo ZigBee fica responsável em prover a comunicação sem fios entre o módulo de medição de umidade e temperatura e o servidor que armazena estas informações em um banco de dados.

Será utilizado o compilador da MikroC 8.2 da Mikroeletrônica na sua versão estudante para a gravação das instruções de programa no PIC 16F628A (módulo de medição de temperatura e umidade) e no PIC 16F877A (Módulo de controle dos bebedouros tipo *nipple*).

Na modelagem e simulação do circuito completo de controle de temperatura do bebedouro será utilizado o software Proteus versão ISIS 7.2 SP2 Profissional.

Foi utilizado o software Solid Works 2012 na sua versão estudante para desenvolvimento de todos os dispositivos mecânicos. Para a aquisição de dados o datalogger Yokogawa Electric Corporation modelo "Dirwin IMDC 100-01 E" foi utilizado.

O sistema de aquisição de dados foi configurado para coleta dos dados em intervalos de regulares de 30s, uma fonte Minipa modelo MPL 3303 M foi utilizada para alimentar o sistema.

Utilizou-se o programa Eagle 7.0 na sua versão estudante para desenvolvimento das placas de circuito impresso e o desenho dos circuitos eletrônicos.

O controle da temperatura da água de bebida das aves e a medição da temperatura e umidade ambiente serão realizados através do programa executivo gravado na memória do PIC.

A figura 20 ilustra o modelo completo adotado para este trabalho e os fluxogramas das instruções do controle é representado pelas figuras 21 e 22.

Dimensionamento do sistema de refrigeração Peltier

O dimensionamento do sistema de refrigeração utilizando célula de *Peltier* será realizado a partir de uma estimativa de carga térmica e da diferença de temperatura quente/frio (DT), buscando determinar os pontos ótimos de operação e uma estimativa de desempenho para o sistema com comportamento não-linear. Os passos para o dimensionamento do sistema de refrigeração seguem o fluxograma mostrado na figura 23 e serão baseados nas especificações citadas nas referências da *Thermoelectric Cooling Systems Design Guide*.

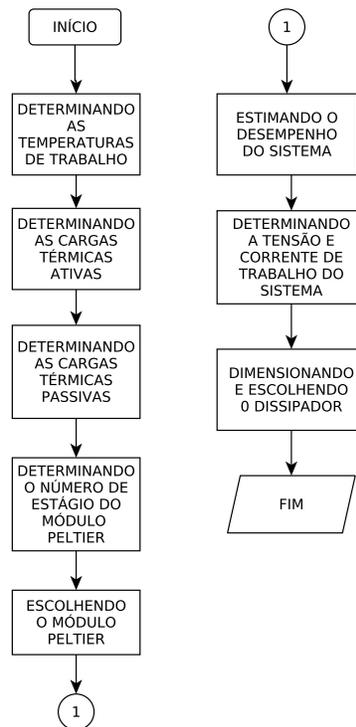


Figura 23 Fluxograma dimensionamento do sistema de refrigeração.

O Controle PID - proporcional, integral e derivativo

O controlador PID clássico é consagrado no controle de processos industriais e como exemplo pode-se citar o controle da potência de motores de indução, controle de nível, temperatura e outras grandezas físicas. Por causa da sua precisão este tipo de controle é muito utilizado no controle de processos complexos. Equipamentos que realizam este tipo de controle estão disponíveis para aquisição no mercado e com o advento dos microcontroladores de baixo custo é possível implementar facilmente, utilizando uma linguagem de programação de alto nível como é a proposta deste trabalho.

O controlador PID pode responder conforme a eq 29 (OGATA,1998):

Em que $e(t)$ é o erro do sinal e $u(t)$ a entrada do controlador de processo, K_p representa o ganho proporcional, T_i a constante de tempo integral e T_d representa a constante de tempo derivativa. Pode-se representar no domínio da frequência o controle PID como mostra a eq. 29 (OGATA,1998):

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + k_p T_d \frac{\partial e(t)}{\partial t} \quad (29)$$

Onde $e(t)$ é o erro do sinal e $u(t)$ a entrada do controlador de processo, K_p representa o ganho proporcional, T_i a constante de tempo integral e T_d representa a constante de tempo derivativa. Pode-se representar no domínio da frequência o controle PID como mostra a eq. 30 (OGATA, 1998):

$$U(S) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) E(S) \quad (30)$$

Onde:

$U(S)$ é a entrada do controlador de processo;

$E(S)$ é o erro do sinal, $(x(t)-r(t))$.

Conforme Breijo (2008), a função transferência para um controlador PID digital, também pode ser representada como sendo:

$$\frac{U(S)}{E(S)} = a + \frac{b}{1 - s^{-1}} + c(1 - s^{-1}) \quad (31)$$

Onde:

$$a = K \quad (32)$$

$$b = \frac{KT}{T_i} \quad (33)$$

$$c = \frac{KT_d}{T} \quad (34)$$

A figura 24 representa o modelo adotado para o controlador PID, e a figura 25 o fluxograma do programa que executa o algoritmo de controle PID.

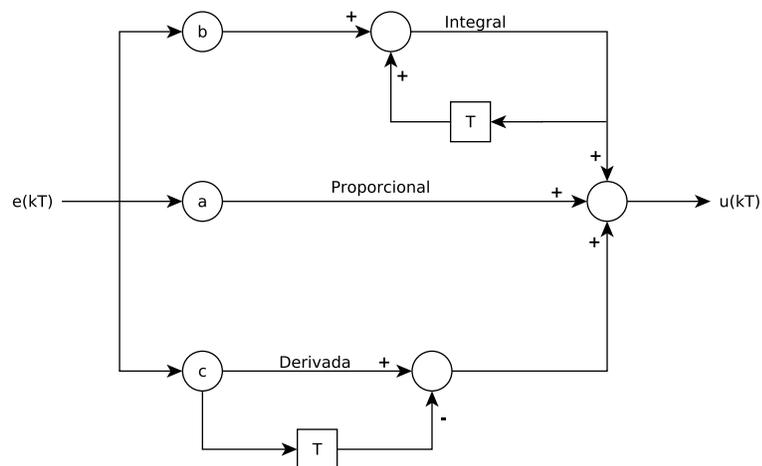


Figura 24 Controle PID.

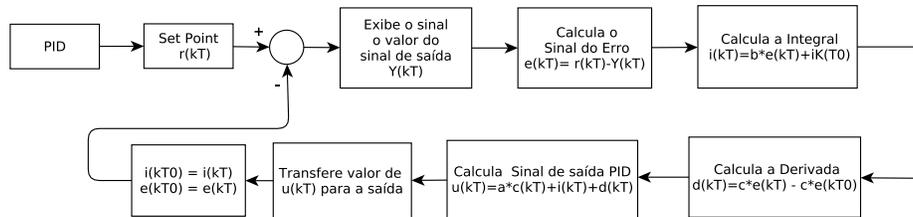


Figura 25 Diagrama de blocos da programação PID digital executada no microcontrolador.

Métodos de sintonia de um controlador PID

Há diversos métodos que são utilizados na sintonia do controle PID como:

- métodos empíricos em malhas instaladas;
- métodos de correlações de ajustes;
- métodos de análises de frequência;
- métodos adaptados à simulação de processos em computadores.

Os métodos empíricos mais utilizados se baseiam em trabalhos de Ziegler-Nichols:

- Método de Curva de Reação;
- Método da Sensibilidade Limite ou do Ganho Limite.

Ambos os métodos partem da previsão que os modelos individuais da malha não são conhecidos, e tem como objetivo fazer testes de PID da malha instalada para adequação dos parâmetros do controlador a esta dinâmica.

Este método consiste na aplicação de um degrau em malha aberta (figura 27) sobre a válvula de controle pelo ajuste manual do controlador e identificação da resposta correspondente da variável medida para então adequar o ajuste do controlador a esta resposta.

Este método foi proposto por Ziegler-Nichols e as correlações de ajuste são baseadas no critério da razão de amortecimento de $1/4$ na resposta.

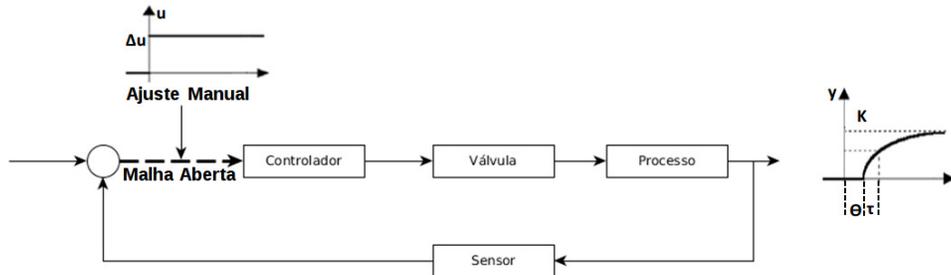


Figura 26 Diagrama em blocos de um controle em malha aberta.

A resposta da planta $G(s)$ à entrada degrau se assemelha a letra "S", caso a resposta de um sistema a ser sintonizado não apresente uma resposta semelhante a letra "S", este método não pode ser aplicado.

Aplicado o degrau na planta e obtidos os parâmetros K , τ e θ , então utiliza-se a seguinte tabela 9 para sintonizar o PID. Neste caso o objetivo é obter um valor máximo de *overshoot* de 25 %.

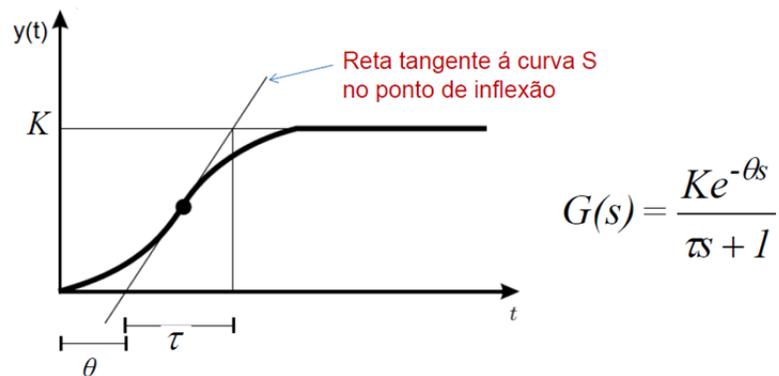


Figura 27 Resposta do processo em malha aberta com aplicação do método Ziegler-Nichols de sintonia do controlador PID.

Tabela 9 Correlações de ajuste de estabilidade para o modelo em 1^a ordem com tempo morto.

CONTROLADOR	Kc	Ti	Td
P	$\tau/(k.\theta)$		
PI	$0,9\tau/(K.\theta)$	$3,33\theta$	
PID	$1,2\tau/(K.\theta)$	$2.\theta$	$0,5.\theta$

Fonte: Ogatta (1998).

Para sintonia das ações de controle do controlador do presente trabalho, foi escolhido o método da curva de reação por sua simplicidade na implementação e levantamento dos parâmetros das ações de controle.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 28 ilustra uma vista em 3D da montagem mecânica final completa do bebedouro refrigerado *Peltier* tipo *nipple*, já na figura 29 mostra uma vista explodida com todos os dispositivos mecânicos.

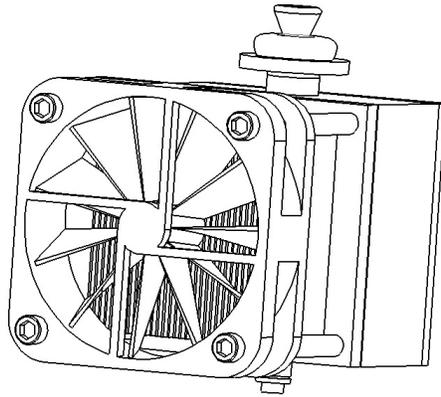


Figura 28 Vista em 3D projeto mecânico "bebedouro refrigerado *peltier* controlado tipo *nipple* de baixo custo empregado na criação de animal".

Na figura 30 ilustra o gráfico de resposta da temperatura em malha aberta da água no interior do bebedouro tipo *nipple*, que será utilizada como base para a sintonia do controlador e conseguinte determinação dos valores das ações de controle, segundo o método *Ziegler-Nichols*, onde pode-se observar os valores de tempo t_0 , t_1 e t_2 , portanto o cálculo dos valores das variáveis θ , τ , K será obtido segundo as equações a seguir:

$$\theta = t_1 - t_0 = 25 \quad (35)$$

$$\tau = t_2 - t_1 = 320 \quad (36)$$

$$K = \frac{y_1 - y_2}{u_1 - u_0} = \frac{22,14 - 1,7}{6 - 0} = 3,4 \quad (37)$$

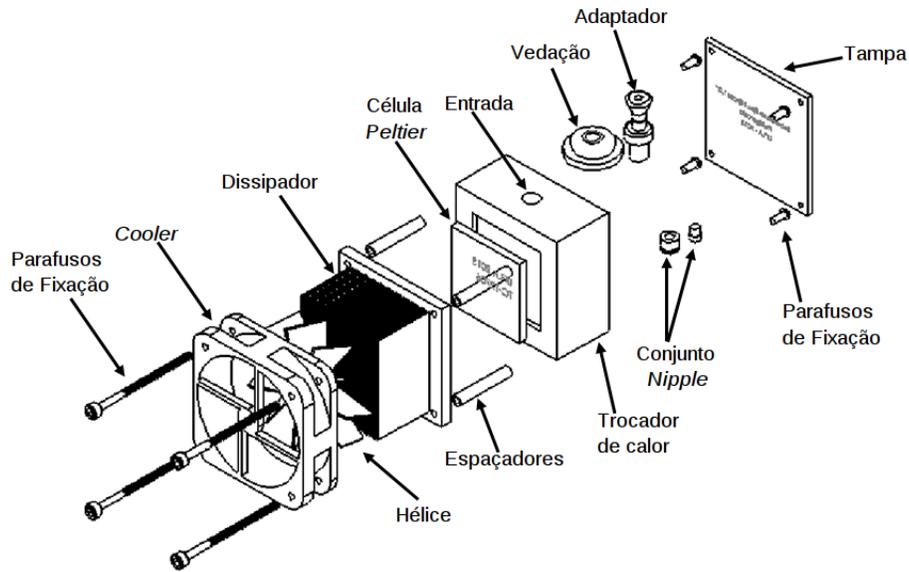


Figura 29 Vista explodida em 3D projeto mecânico do "bebedouro refrigerado peltier controlado tipo nipple de baixo custo empregado na criação de animal".

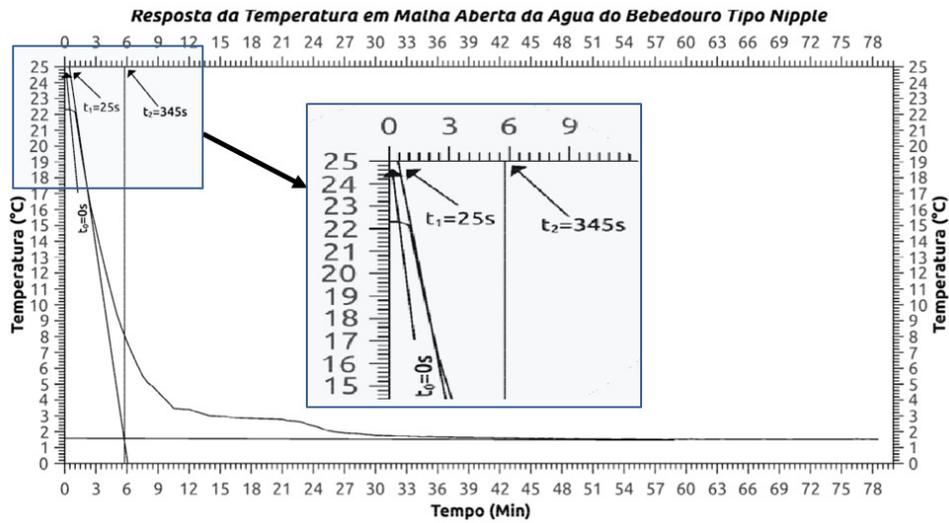


Figura 30 Curva de resposta da temperatura da água resfriada em malha aberta.

A função transferência do sistema de resfriamento é encontrada a partir dos valores encontrados nas equações 35, 36 e 37 e utilizado na equação dada (38):

$$G_{(s)} = \frac{Ke^{-s\theta}}{1 + \tau s} = 3,4 \frac{e^{-25s}}{1 + 320s} \quad (38)$$

A figura 31 ilustra o gráfico da tensão de excitação na célula de *Peltier* reduzida em 50% da tensão nominal usada para se obter o valor de (Δu).

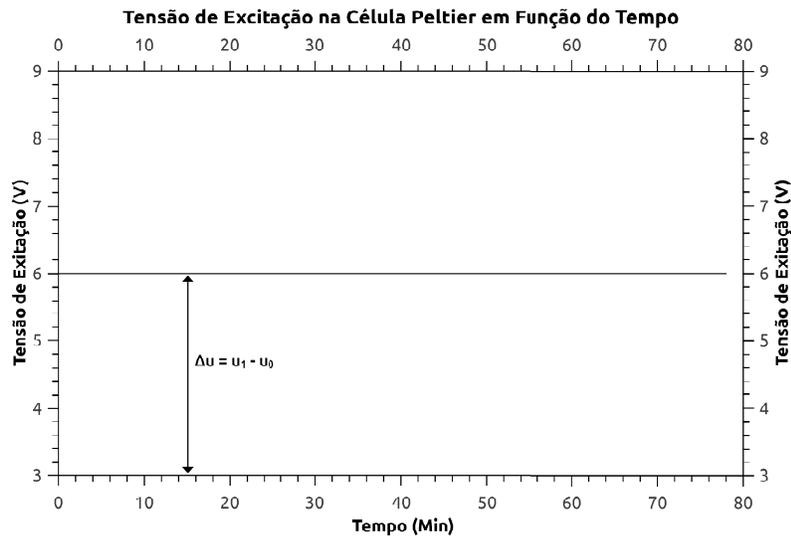


Figura 31 Tensão de excitação na célula de *peltier* em malha aberta.

Para um controlador PID, obtem-se os valores de K_c , T_i e T_d de acordo com a tabela 9, usando-se as equações:

$$K_c = \frac{1,2\tau}{K\theta} = 4,51 \quad (39)$$

$$T_i = 2\theta = 50 \quad (40)$$

$$T_d = 0,5\theta = 12,5 \quad (41)$$

Aplicando os valores K , τ e θ encontrados nas equações 39, 40 e 41 e considerando uma razão de amortecimento de $1/4$ na resposta, adota-se um período de $T = 0.1s$, segundo o critério de $T < \tau/4$, os valores encontrados do controlador discreto serão:

$$a = K_c = 4,51 \quad (42)$$

$$b = \frac{K_c T}{T_i} = 0,00902 \quad (43)$$

$$c = \frac{K_c T_d}{T} = 563,75 \quad (44)$$

Os valores encontrados pelas equações 42, 43 e 44, carregados como parâmetro no programa desenvolvido e embarcado no microcontrolador da placa controladora, ajustando-se o valor de *setpoint* em 10°C , obteve-se como resposta o gráfico ilustrado pela figura 32. Como se observa, o sistema de controle se mostra eficiente, mantendo-se a temperatura da água em torno de 10°C (curva vermelha), independentemente da variação da temperatura ambiente (curva verde).

A figura 33 mostra o gráfico boxplot da média dos valores da temperatura ambiente e na temperatura controlada do bebedouro tipo *nipple*. Como se observa, os valores de temperatura ambiente (tem-ambiente) variam entre 21 e 30°C , com mediana em 25°C . Nesse mesmo gráfico, pode-se verificar que 75% dos valores da temperatura ambiente permaneceram entre 23 e 27°C , registrando temperatura máxima em 30°C . Obteve-se como média de 10°C nos valores amostrados de temperatura da água interna no bebedouro (*temp-nipple*).

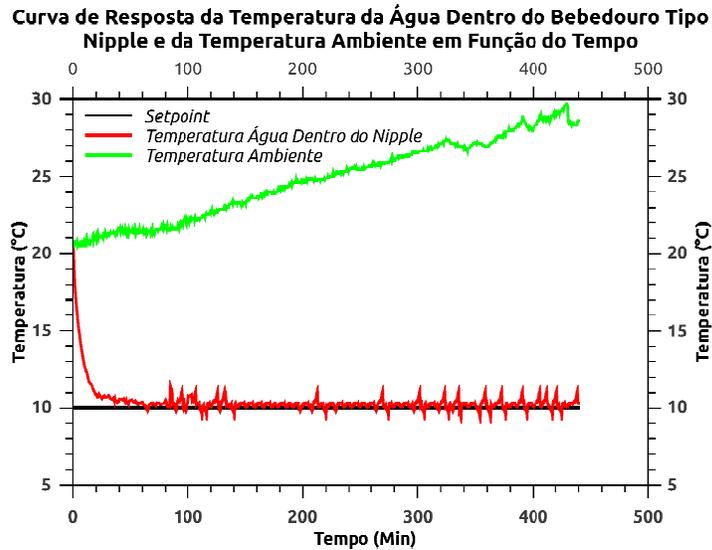


Figura 32 Curva de temperatura ambiente e controlada no bebedouro tipo *nipple*.

Nota-se uma pequena dispersão dos dados amostrados, que estão concentrados próximo ao valor de 10°C, o que praticamente suprime os *whisker* inferior e superior do gráfico *boxplot*.

Observando a figura 33, verifica-se a ocorrência de um valor de *outliner* na variável temperatura da água interna do bebedouro tipo *nipple* (*temp-nipple*), e este valor coincide com o valor mínimo da variável (*temp-ambiente*).

A sua ocorrência pode ser explicada enquanto o controle de processo encontra-se em regime transitório, neste intervalo de valores a variável de processo está afastada do valor do *setpoint*.

A figura 34 ilustra o gráfico do comportamento do desvio ((variável de processo) - (*setpoint*), "curva vermelha") da temperatura controlada da água no interior do conjunto bebedouro tipo *nipple*. Observando o gráfico ilustrado na figura 34, nota-se que o sistema de controle entra em regime permanente decorridos 60 minutos do início do controle de processo.

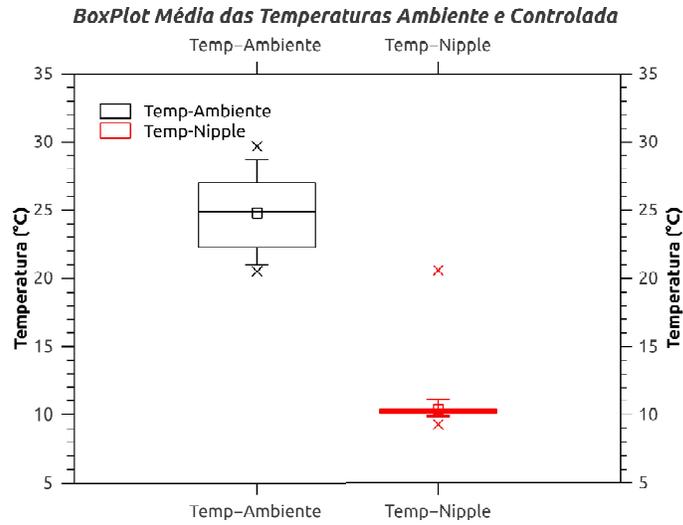


Figura 33 Diagrama de caixa das temperaturas ambiente e da temperatura controlada da água no interior do bebedouro tipo *nipple*.

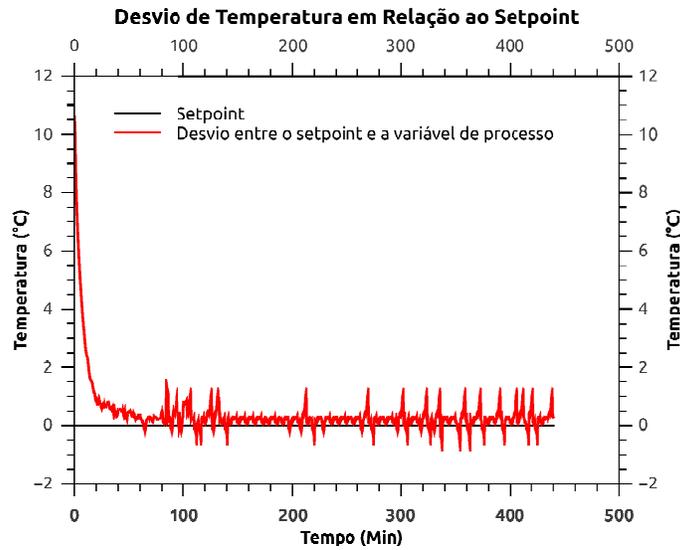


Figura 34 Desvio da temperatura em relação ao *setpoint*.

A figura 35 ilustra o gráfico boxplot dos valores médios do desvio da temperatura interna da água resfriada do bebedouro tipo *nipple* e o valor do *setpoint*.

Observando o gráfico ilustrado na figura 35, percebe-se que 75% dos valores amostrados então variando entre 0,2 a 0,4°C, distantes do valor do *setpoint*, com média do desvio em torno de 0,4°C. Observando o gráfico ilustrado pela figura 35, nota-se que os valores amostrados são mais dispersos no *whisker* superior se comparados com os valores representados pelo *whisker* inferior do gráfico *boxplot*, isto pode ser explicado devido a interferência dos valores amostrados na fase transitória do controle de processo.

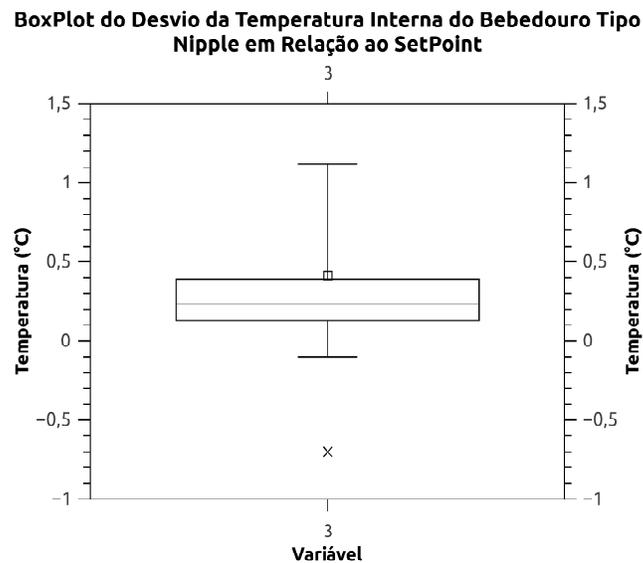


Figura 35 Diagrama de caixa do desvio da temperatura da água no interior do bebedouro tipo *nipple* e o *setpoint*.

4 CONCLUSÕES

O Projeto do conjunto mecânico do bebedouro refrigerado *Peltier* controlado tipo *nipple*, empregado na criação de aves, bem como o sistema de controle embarcado no microcontrolador PIC, desenvolvidos para o controle da temperatura da água de bebida na criação de aves, mostraram-se tecnicamente viáveis, além de serem de baixo custo.

Os resultados obtidos pelo controlador PID mostraram que a técnica de sintonia utilizando o método *Ziegler-Nichols* apresentou funcionamento satisfatório, obtendo como resultado a estabilidade da temperatura da água de bebida dentro dos parâmetros iniciais do projeto. Os resultados permitem concluir que a variação da temperatura ambiente não interfere na temperatura da água controlada pela placa eletrônica controladora PID, que se mantém em torno do *setpoint* e com um desvio médio de 0,4°C.

Os resultados mostraram que o controlador PID na maior parte do tempo foi capaz de manter os parâmetros de temperatura dentro das faixas consideradas como parâmetros iniciais do projeto conforme literatura referenciada.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. A. Drinking water as a risk factor to poultry health. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 6, n. 4, p. 191-194, 2004.

AMARAL, L. A. et al. Qualidade higiênico sanitária e demanda de cloro da água de dessedentação de galinhas de postura coletadas em bebedouros tipo taça e nipple. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 3, p. 249-255, 2001.

BARROS, L. S. S.; AMARAL, L. A.; ROSSI JUNIOR, O. D. Aspectos microbiológicos e demanda de cloro de amostras de água de dessedentação de frangos de corte coletadas em bebedouros pendulares. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 193-198, 2001.

BREIJO, E. G. **Compilador C CCS e simulador Proteus para microcontroladores PIC**. México: AlfaOmega, 2008. 154 p.

BUENO, L. G. F. **Avaliação da eficiência energética e do conforto térmico em instalações de frango de corte**. 2004. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University, 1983. 410 p.

GAMA, N. M. S. Q. **Qualidade química e bacteriológica da água utilizada em granjas produtoras de ovos**. 2005. 87 p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

GERNAT, A. G.; ADAMS, A. W. Effect of number of hens per nipple waterer on the performance of several strains of layers in cages. **Poultry Science**, Champaign, v. 71, p. 1292-1295, 1992.

GERNAT, A. G.; ADAMS, A. W. Effect of number and location of nipple waterers and cage shape on the performance of caged layers. **Poultry Science**, Champaign, v. 69, p. 2086-2091, 1990.

LHOTE, F.; CHAZELET, P.; DULMET, M. The extension of principles of cybernetics towards engineering and manufacturing. **Annual Reviews in Control**, Laxenburg, v. 23, p. 139-148, 1999.

MACARI, M.; FURLAN, R. L. Ambiência na produção de aves em clima tropical. In: SILVA, I. J. O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Jaboticabal: SBEA, 2001. p. 31-87.

NASCIMENTO, S. T. et al. Estudos preliminares de tolerância ao estresse térmico de duas linhagens comerciais de frangos de corte na sexta semana de produção. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 18.; CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ZOOTECNIA, 2., 2009, Vila Real. **Anais...** Vila Real, 2009. p. 474-477.

OGATA, K. **Ingeniería de control moderna: controles PID e introducción al control robusto**. 3. ed. Naucalpan de Juárez: Prentice Hall, 1998. 669 p.

RAMOS, N. C.; GERNAT, A. G.; ADAMS, W. Effects of cage, shape, age at housing and types of rearing and layer waterers on the productivity of layers. **Poultry Science**, Champaign, v. 69, p. 217-223, 1990.

SILVA, R. C. et al. Força de ruptura da casca do ovo em função das temperaturas da água e do ambiente. **Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior**, Brasília, DF, v. 27, n. 1, p. 13-18, 2012.

TABLER, G. T. Water intake: a good measure of broiler performance. **Avian Advise**, Arkansas, v. 5, n. 3, p. 7-9, 2003.

TINÔCO, I. F. F. Conforto ambiental para aves: ponto de vista do engenheiro. In: SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 2., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1996. p. 47-56.

VALIAS, A. P. G. S.; SILVA, E. N. Estudo comparativo de sistemas de bebedouros na qualidade microbiológica da água consumida por frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 83-89, 2001.

ARTIGO 2

LUVA REFRIGERADA EMPREGADA NA CRIAÇÃO ANIMAL UTILIZANDO EFEITO *PELTIER*

RUFINO, C.A¹; RABELO, G. F²; YANAGI, T. J³; GERALDO, A⁴.

¹Eng. de Telecomunicações, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - MG, carlos.rufino@posgrad.ufla.br.

²Eng. Eletricista, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras - MG.

³Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras - MG.

⁴Zootecnista, Prof. Doutor, Departamento de Ciências Agrárias - IFMG - Instituto Federal de Minas Gerais - MG.

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho o desenvolvimento de uma luva refrigerada para fornecimento de água de bebida aos animais, neste caso aves, que também pode ser adotado para diferentes animais com pequenas alterações de projeto. A luva é constituída por um conjunto mecânico composto por um trocador de calor todo em alumínio que possui uma célula de *Peltier* como elemento principal de transferência de calor da água interna ao trocador para o ambiente externo, um dissipador de calor acoplado ao ventilador ajuda na redução da temperatura da face quente e conseqüente melhora da eficiência da transferência de calor para o ambiente externo. O processo de transferência de calor, se dá pela passagem de uma corrente elétrica em uma interface de metais e semicondutores, ao contrário do que ocorre no efeito Seebeck ao circular uma corrente pela junção em que esta ficará aquecida ou refrigerada, dependendo do sentido da corrente. A luva refrigerada terá como principal propósito de funcionamento o resfriamento da água de bebida, no caso das aves, por zonas de resfriamento, espaçadas entre o início e o final da linha principal de distribuição de água de um galpão de criação avícola. Este trabalho propõem um método de avaliação de desempenho da luva como sistema de resfriamento da água de bebida das aves, simulando uma linha de distribuição de água e verificando o comportamento da temperatura da água em relação a variação da temperatura ambiente ao longo desta tubulação. O ensaio foi feito em malha aberta onde o sistema de resfriamento foi excitado em sua máxima potência.

Palavras-chave: Luva. Refrigerada. Água. Célula. Peltier.

ABSTRACT

The aim of this present study the development of a refrigerated glove for the supply of drinking water to animals, in this case poultry, but can be adopted for different animals with small design changes. The glove It comprises a mechanical assembly consisting of a whole heat exchanger aluminum having a Peltier element as a primary transfer tion of the internal heat exchanger the water to the external environment, a heatsink coupled heat fan helps in reducing the temperature of the hot face and the consequent improvement in heat transfer efficiency to the environment external. The heat transfer process that occurs by passing an electric current in a metal and semiconductor interface, unlike which occurs in the Seebeck effect to circulate a current through this junction It will be heated or cooled, depending on the current direction. The refrigerated glove generated will primarily operating purpose cooling water drink, in the case of birds, for cooling zones, spaced from the top and end of the main line of water distribution of a poultry shed creation. This paper proposes a method of evaluation of glove performance as system cooling the drinking water of poultry, simulating a distribution line water and checking the water temperature behavior with steam reation ambient temperature throughout this pipe. The assay was done in open loop where the cooling system was excited at maximum power.

Keywords: Glove. Refrigerated. Water. Cell. Peltier.

1 INTRODUÇÃO

O extenso território brasileiro é caracterizado pela diversidade de relevos e pela dinâmica das correntes e massas de ar, que favorecem uma grande diversidade de climas entre regiões e até mesmo diferenças dentro de regiões.

O Brasil possui mais de 60% de seu território situado entre a faixa denominada como tropical, ou seja, entre os paralelos de 23,5° de latitude norte (trópico de câncer) e sul (trópico de capricórnio), onde a temperatura do ar é predominantemente alta, em face da elevada radiação solar incidente (SILVA, 2000). Segundo Pereira (2005), para esta faixa a temperatura média é de 20°C, sendo na maior parte do ano superior a 28°C e para algumas regiões atingindo, muitas vezes, valores entre 35°C e 38°C.

O mesmo autor afirma também que próximo a linha do equador, a temperatura é mais alta e mais estável ao longo do ano, diferentemente do que ocorre nas regiões mais ao sul onde as temperaturas são menores e instáveis.

Segundo Ahrens (2005), o clima de certa região representa o acúmulo de eventos diários e sazonais do tempo. Contudo, o conceito de clima é bem mais abrangente, pois ainda inclui valores extremos do tempo, as ondas de calor no verão e períodos de frio no inverno. De acordo com Pereira (2005), o clima é o fator ambiental que mais influencia o bem estar e a produtividade animal. Os índices climáticos causam efeitos diretos e indiretos nos animais, que refletem no desempenho produtivo. Nas regiões de clima tropical, o estresse térmico é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento dos animais (GREGORY, 2010).

Em climas tropicais o fator principal de adaptação dos animais para a produção tem sido as altas temperaturas associadas a altos valores da umidade relativa do ar, que ocorrem em certas regiões do território brasileiro, o que reduz a pro-

atividade de algumas espécies estabelecidas, quando comparados aos níveis de produção em climas temperados ou se mantém o controle dos fatores climáticos (UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBA, 2006). Dessa forma, de todos os fatores que afetam o ambiente, o clima é, sem dúvida, o mais importante, sendo que a eficiência produtiva e reprodutiva de qualquer animal se relaciona com estímulos aos ambientes onde vivem. Entretanto, existe para cada espécie uma faixa de condições ambientais, denominada zona de conforto térmico, na qual o animal apresenta os melhores resultados com menor gasto energético e mínimo esforço do mecanismo termorregulatório, possibilitando melhor conversão alimentar, ganho de peso mais acelerado e redução da mortalidade (CURTIS, 1983).

Do ponto de vista econômico, a água representa o nutriente de mais baixo custo, no entanto, fisiologicamente é essencial no metabolismo orgânico. Segundo Bertechini (2012), a bioquímica nutricional da água é complexa e de difícil entendimento, não sendo simplesmente uma molécula de H_2O , uma grande parte das moléculas de água está interligada por pontes de hidrogênio, formando moléculas complexas macromoléculas. A facilidade e rapidez com que ocorre a dissociação dessa molécula ($H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$) é o que caracteriza a sua participação nas reações do metabolismo.

A distribuição da água no corpo animal dar-se-á de forma heterogênea, de maneira a manter o equilíbrio dinâmico entre os compartimentos do organismo. A água intracelular representa mais de 50% do peso vivo, enquanto que o conteúdo extracelular aproximadamente 20%. O funcionamento normal do organismo se dá em torno das perdas interruptas de água que devem ser repostas constantemente pela água de bebida, principalmente. O conteúdo aquoso corpóreo é relativamente constante, portanto, a entrada de água (ingestão) somada à água metabólica deve equilibrar-se na saída.

Em estudos realizados por Silva et al. (2012), fica clara a influência da temperatura da água de bebida em criação de galinhas poedeiras na qualidade da casca do ovo. As aves, mesmo submetidas a estresse térmico no caso 32°C e bebendo água resfriada com gelo, utilizando bebedouros tipo *nipple*, obteve-se resultados de melhora consideráveis na qualidade da casca do ovo.

Poedeiras em estresse térmico têm como principal resposta a redução na ingestão de alimentos que resulta em queda de produção e comprometimento da qualidade dos ovos. Uma das formas de minimizar os efeitos negativos provocados pelo estresse de calor é através da manipulação da dieta que visa disponibilizar nutrientes essenciais à manutenção e produção mesmo quando as aves em resposta a adversidade ambiental reduzem o consumo de alimentos (CARCALHO, 2012).

Objetivou-se com o presente trabalho o estudo e desenvolvimento de um sistema tipo luva de refrigeração de água de bebida aplicado à criação industrial de aves baseado no efeito *Peltier* que pode ser adaptado diretamente na tubulação de distribuição de água de bebida de um galpão de criação animal, neste caso, de aves.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi dividido em duas etapas, na primeira etapa o projeto mecânico dos dispositivos que compõem a luva refrigerada foi desenvolvido. Na segunda etapa foi realizada uma avaliação do comportamento da temperatura da água entre a luva refrigerada e a saída da tubulação de alimentação (no caso sem isolamento térmico), onde foi dividido em sete zonas de medição. A ideia foi comparar a temperatura interna da luva refrigerada operando em malha aberta (OGATTA, 1998) e a temperatura entre as sete zonas de resfriamento verificando a influência da temperatura ambiente na temperatura da água no interior da tubulação de 1/2".

Os testes experimentais foram realizados no laboratório de protótipos do CDIA - Centro de Diagnóstico de Imagem da Universidade Federal de Lavras - UFLA.

Foi utilizado o *software Solid Works 2012* na sua versão estudante para desenvolvimento de todos os dispositivos mecânicos. Para a aquisição de dados o *datalogger Yokogawa Electric Corporation* modelo *Dirwin "IMDC 100-01 E"* foi utilizado.

O sistema de aquisição de dados foi configurado para coletá-los em intervalos de 30s, uma fonte Minipa modelo MPL 3303 M foi utilizada para alimentar a luva refrigerada.

A luva refrigerada foi montada em um tubo de PVC disposta conforme figura 36 observa-se a distribuição de sensores de temperatura do tipo termopar "K" ao longo da tubulação espaçadas de 30 cm e distribuído em sete zonas de medição. Foi utilizado um sensor CI LM35 como sensor de temperatura interna da água na luva refrigerada, conforme indica a figura 37.

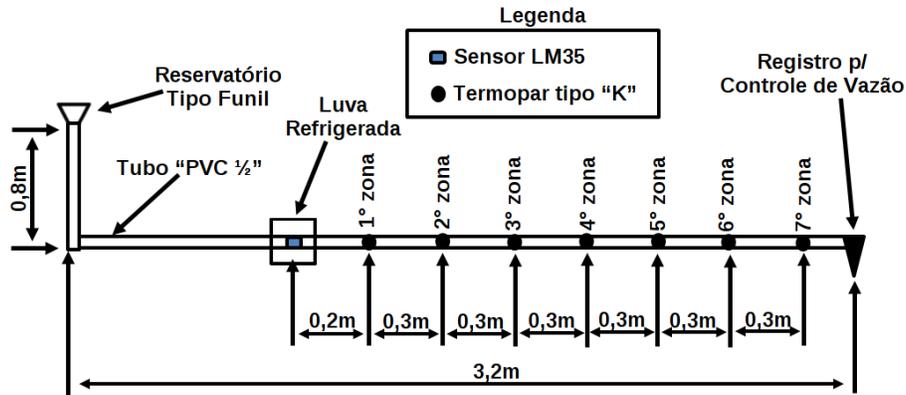


Figura 36 Montagem do experimento e disposição dos componentes.

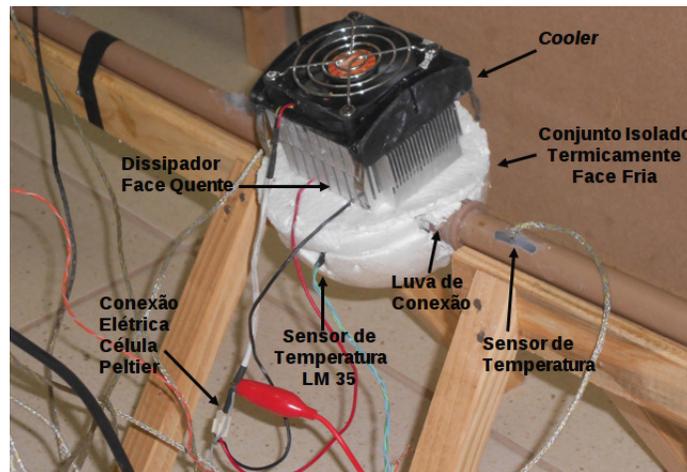


Figura 37 Montagem do experimento e detalhamento dos componentes principais da luva refrigerada.

Os sensores LM35, produzidos pela *National Semiconductor Corporation*, apresenta relação linear de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, sendo alimentado por uma tensão de 5 V, o que possibilita sua conexão direta ao *datalogger*.

A figura 38 mostra o encapsulamento e a pinagem dos sensores LM35 utilizados na montagem do hardware.

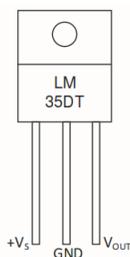


Figura 38 Encapsulamento e a pinagem do sensor de temperatura LM35DT.

Utilizou-se no experimento uma célula *Peltier* modelo TEC1-12705 60W, um dissipador acoplado a um cooler comum encontrado em placas mãe de computadores pessoais (PC) que auxilia na transferência de calor para o ambiente externo (face quente), conforme ilustra a figura 39. Foi desenvolvido um trocador de calor (figura 39) construído em alumínio para aumentar a eficiência das trocas térmicas entre a água que se encontra internamente no trocador de calor e o ambiente externo (face fria); a célula de *Peltier* foi instalada entre a face quente e face fria; para uma melhor condução de calor foi utilizado uma pasta térmica entre as superfícies de contato, ou seja, trocador de calor/célula/dissipador (figura 39).

Um registro foi instalado no final da linha de alimentação, figura 36, que permite ajustar uma vazão ao sistema, que neste caso foi ajustado para uma vazão de 200 mL/min, um balde foi usado para a coleta da água. Na entrada do sistema foi instalado um funil para facilitar a alimentação do sistema conforme ilustra a figura 36. A figura 39 mostra todos os componentes mecânicos disponíveis para a montagem da luva refrigerada.



Figura 39 Vista explodida 3D montagem mecânica da luva refrigerada.

O acoplamento da luva refrigerada na tubulação de PVC é feita através de duas conexões de PVC soldáveis de 1/2", (figura 39), a face fria foi isolada termicamente utilizando isopor. Por se tratar de um processo "naturalmente estável", optou-se em configurar o sistema de controle da luva de resfriamento para operar em malha aberta, com o objetivo de levantar a curva de resposta de operação em potência máxima, ou seja, 60W, ajustando os valores aplicados na célula de *Peltier* de corrente e tensão em 5A, 12V, respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico ilustrado na figura 40 mostra a curva da evolução da temperatura nas zonas de resfriamento (figura 36) e da temperatura ambiente. Neste mesmo gráfico observa-se a influência da temperatura ambiente nas medições das zonas de resfriamento. A explicação pode ser dada pelo não isolamento do tubo de PVC, que foi um dos parâmetros de entrada do projeto para a determinação da avaliação.

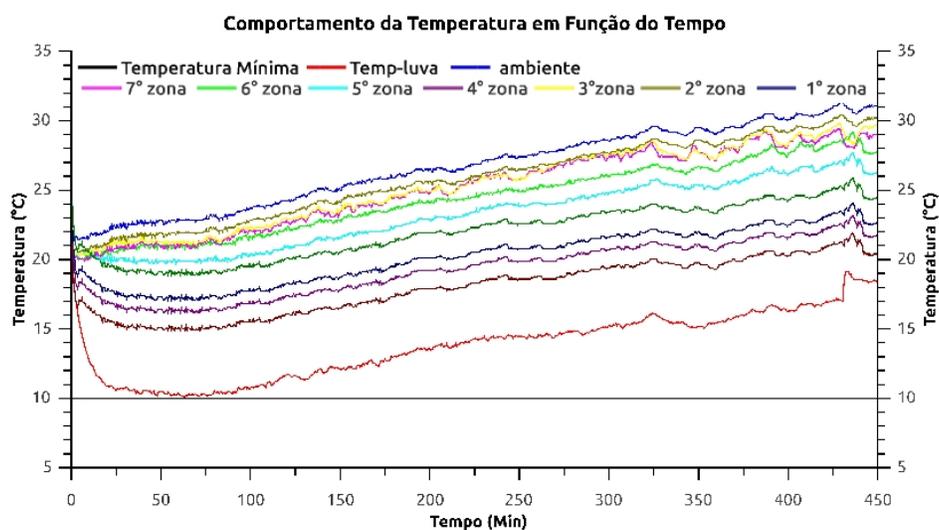


Figura 40 Gráfico da evolução das temperaturas em função do tempo.

O gráfico ilustrado pela figura 41 mostra o desvio da temperatura em relação ao valor mínimo alcançado dos valores amostrados, no caso 10°C , observa-se que no decorrer do tempo, o desvio tende a aumentar, e este comportamento pode ser explicado dada a influência da temperatura ambiente na temperatura interna da luva de refrigeração.

O gráfico representado na figura 42 mostra o desvio da temperatura interna na luva refrigerada em relação a temperatura ambiente.

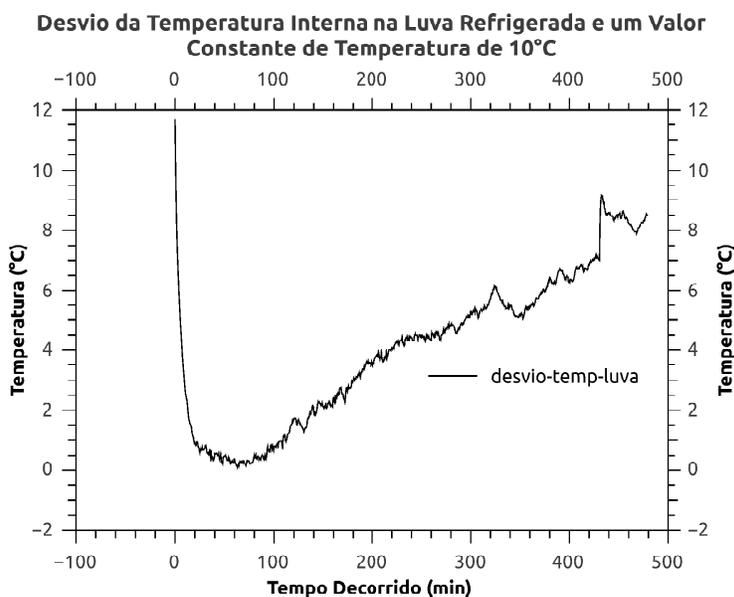


Figura 41 Gráfico da evolução desvio da temperatura interna da luva refrigerada e o valor constante de 10°C.

Pode-se notar que decorridos 60 minutos, o desvio se aproxima de 0°C, e a partir este ponto, o desvio tende aumentar progressivamente, chegando a um valor de pico de $\approx 15^{\circ}\text{C}$ em relação a temperatura ambiente, evidenciando a influência da temperatura ambiente no sistema de resfriamento.

Observa-se no gráfico boxplot, representado pela figura 43, que os valores médios da temperatura ambiente (1ª zona) e da temperatura interna da luva refrigerada, 75% dos valores amostrados da temperatura ambiente permaneceram entre 24 e 29°C, com mediana em 27°C, e 75% dos valores amostrados da temperatura interna da luva refrigerada variaram entre 12 e 16°C, com mediana em 14°C.

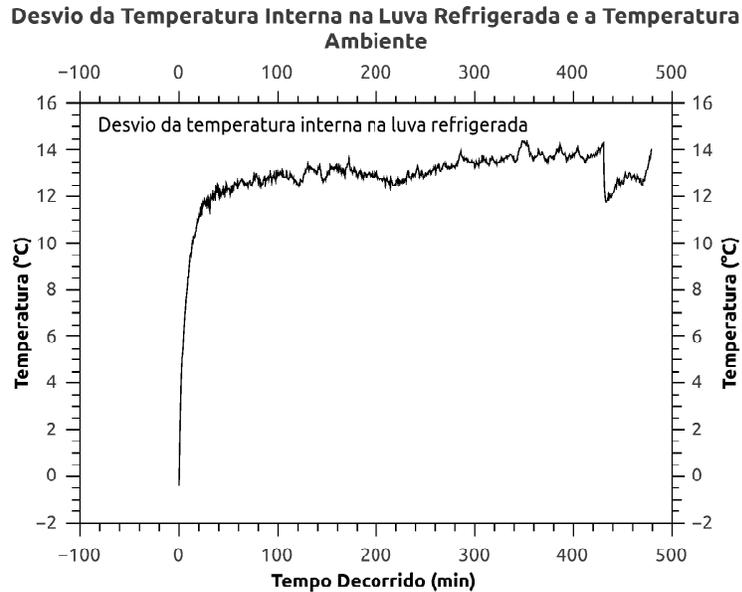


Figura 42 Gráfico da evolução desvio da temperatura interna da luva refrigerada e da temperatura ambiente.

O gráfico boxplot representado na figura 44 exibe os valores das médias da temperatura nas zonas de medição e da temperatura ambiente. Nota-se que a temperatura interna da luva refrigerada apresentou uma mediana de 14 °C (8° zona), e 75% dos valores amostrados de temperatura ambiente permaneceram entre 24 e 28 °C.

Observa-se no gráfico representado pela figura 44 que a diferença entre a mediana dos valores da temperatura da primeira zona de resfriamento, e da mediana dos valores da temperatura da quinta zona de resfriamento, obteve como resultado 5 °C, o que corresponde a uma distância de 1,5 metros entre a luva de resfriamento e a quinta zona de resfriamento. Observa-se também, que diferença entre o valor da mediana da temperatura ambiente (9° zona) e o valor da mediana da temperatura da quinta zona de resfriamento resultou em 3 °C.

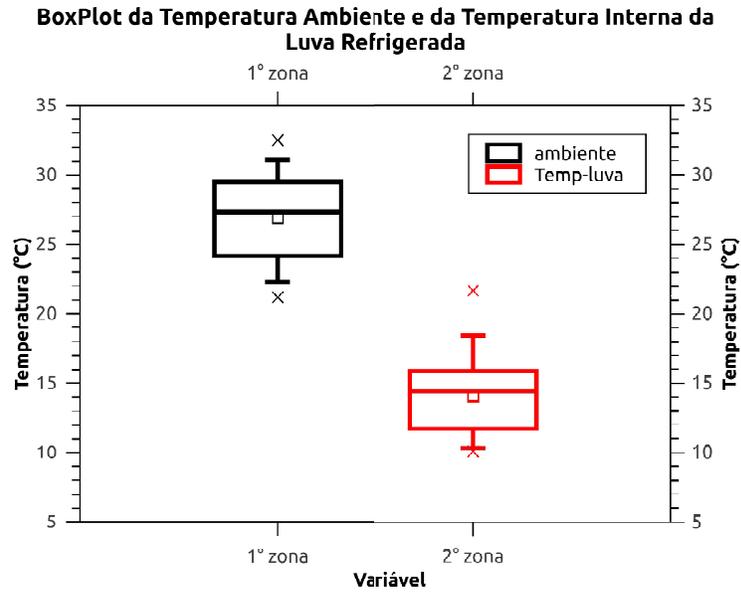


Figura 43 Gráfico boxplot dos valores de temperatura interna da luva refrigerada e da temperatura ambiente.

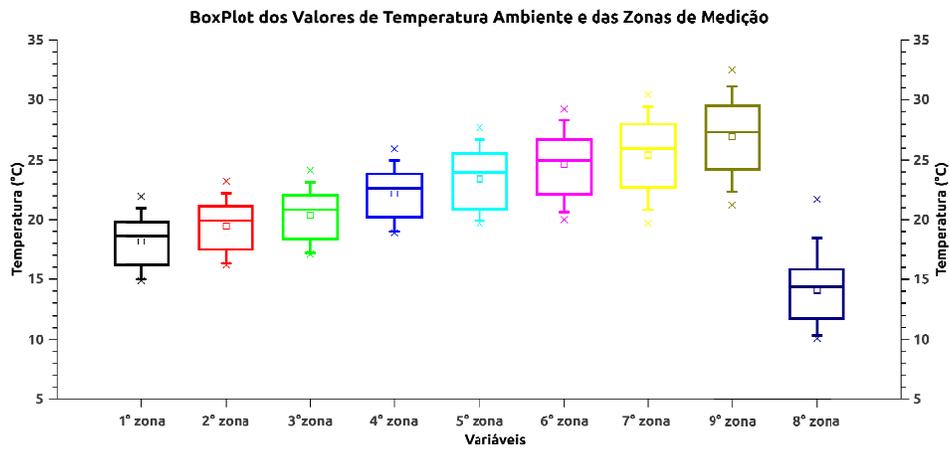


Figura 44 Gráfico boxplot dos valores de temperatura interna da luva refrigerada, zonas de medição e da temperatura ambiente.

4 CONCLUSÕES

O projeto do conjunto mecânico "luva refrigerada utilizando efeito *Peltier* empregada na criação animal" foi desenvolvido para resfriamento interno da tubulação de distribuição principal da água de bebida das aves em interior de galpões de criação de aves, mostrando-se eficiente e tecnicamente viável, além de ser de baixo custo.

Os resultados obtidos mostram que mesmo sem isolamento no tubo de distribuição de água, o valor da temperatura entre a primeira zona de medição e a quinta zona de medição apresentaram variação entre 18 e 23 °C. Houve uma redução na temperatura média interna da água no tubo de distribuição de ≈ 5 °C, o que representa uma distância entre a luva de resfriamento e a quinta zona de medição de $\approx 1,5$ mts.

Os resultados mostraram que a "luva refrigerada com temperatura controlada utilizando efeito *Peltier* empregada na criação animal" na maior parte do tempo observado foi capaz de manter os valores de temperatura abaixo da temperatura ambiente.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, D. C. **Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere.** 4th ed. Belmont: Cengage Learning, 2005. 506 p.
- BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástricos.** Lavras: UFLA, 2012. 373 p.
- CARCALHO, L. S. S. Nutrição de poedeiras em clima quente. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça, n. 18, p. 1-15, jan. 2012.
- CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture.** Ames: The Iowa State University, 1983. 410 p.
- GREGORY, N. G. How climatic changes could affect meat quality. **Food Research International**, Barking, v. 43, n. 7, p. 1866-1873, 2010.
- OGATA, K. **Ingeniería de control moderna: controles PID e introducción al control robusto.** 3. ed. Naucalpan de Juárez: Prentice Hall, 1998. 669 p.
- PEREIRA, C. C. J. **Fundamentos de bioclimatologia aplicada à produção animal.** Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195 p.
- SILVA, K. O. **Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de umidade e temperatura do ar.** 2000. 70 f. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- SILVA, R. C. et al. Força de ruptura da casca do ovo em função das temperaturas da água e do ambiente. **Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior**, Brasília, DF, v. 27, n. 1, p. 13-18, 2012.
- UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Relatório anual 2006/2007.** Brasília, DF, 2006. 80 p.

ARTIGO 3

SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE CÉLULAS TERMOVOLTAICAS

RUFINO, C.A¹; RABELO, G. F².

¹Eng. de Telecomunicações, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - MG, carlos.rufino@posgrad.ufla.br.

²Eng. Eletricista, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras - MG.

RESUMO

O presente trabalho trata de um sistema e método para geração de energia elétrica utilizando qualquer fonte de calor, podendo ser água quente, ar quente, luz do sol e calor gerado em motores a combustão interna ou de motores elétricos. Objetivou-se, com este trabalho, desenvolver um sistema capaz da conversão direta de energia térmica em energia elétrica. O sistema se baseia nos efeitos de FERMI que ocorrem quando as cargas elétricas portadoras majoritárias e portadoras minoritárias em uma junção semicondutora PN ou NP se deslocam e cruzam as interfaces do material semicondutor devido à diferença de temperatura entre as junções. É necessário expor a uma diferença de temperatura entre as duas junções PN para que apareça nos terminais uma diferença de potencial (tensão) gerada. O trabalho foi dividido em duas etapas, na primeira etapa, levantou-se a curva característica de resposta de uma célula termovoltáica propiciando o conhecimento de desempenho da célula em relação ao gradiente de temperatura e a tensão gerada, na segunda etapa foi realizado o projeto elétrico e mecânico do conjunto baseado nos dados levantados no experimento realizado na primeira etapa e obteve-se como proposta o projeto de um sistema capaz de gerar uma tensão de 12 V, podendo-se acoplar a qualquer superfície onde houver disponibilidade de um gradiente de temperatura. A partir dos testes em laboratório, o protótipo mostrou-se apto a operacionalizar de forma satisfatória, mostrando que é possível a conversão direta de energia utilizando o sistema proposto.

Palavras-chave: Geração. Energia. Elétrica. Célula. Termovoltáica.

ABSTRACT

This work is a system and method for electric power generation using any heat source and can be hot water, hot air, sunlight and heat generated in internal combustion engines and electric motors. The objective of with this work, to develop a system capable of direct conversion of thermal energy into electrical energy. The system is based on the Fermi effects that occur when electric charges majority carriers and minority carriers in a semiconductor pn junction or PN shift and cross the material interfaces due to the temperature difference between the junctions. It is necessary to expose a temperature difference between the two PN junctions to appear at the terminals a potential difference (voltage) generated. The work was divided into two parts, the first half rose to response characteristic curve of a termovoltaiica cell providing the cell performance knowledge in relation to the temperature gradient and the voltage generated in the second stage the electrical design was carried out and mechanic a set based on data collected in the experiment carried out in the first stage and had the proposal to design a system capable of generating a voltage of 12 V can be coupled to any surface which has available a temperature gradient. From the laboratory tests, the prototype proved to be able to operate satisfactorily, showing that the direct energy conversion using the proposed system is possible.

Keywords: Generation. Energy. Eletric. Cell. Termovoltaiic.

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade se tornou a principal fonte de luz, calor e força utilizada no mundo moderno. Atividades simples como assistir à televisão ou navegar na internet são possíveis graças a energia elétrica. Fábricas, supermercados, shoppings e uma infinidade de outros espaços precisam dela para funcionar. Grande parte dos avanços tecnológicos que alcançamos se deve à energia elétrica, resumidamente, a energia desempenha um papel fundamental na vida humana e está vinculada ao desenvolvimento econômico e social de uma nação.

Com o crescente aumento da demanda energética mundial, a conversão direta de energia mostra-se como uma alternativa promissora, já que as fontes de conversão indireta de energia tendem a se esgotar em um futuro próximo.

Em muitas situações nas quais as máquinas de transformação de energia devem funcionar durante anos sem avarias nem manutenção, ainda, há eventos onde se requer a máxima segurança possível como é o caso de satélites e veículos espaciais tripulados. Desta forma, dispositivos de conversão direta podem oferecer maior confiabilidade na geração de energia, por ser um dispositivo de estado sólido, em relação aos métodos de conversão indireta de energia.

Os métodos de conversão direta de energia térmica para energia elétrica conduziram ao desenvolvimento de geradores termoelétricos cuja principal vantagem é a simplicidade e confiabilidade devido a ausência de partes móveis. Pode ser utilizado qualquer fonte de calor de forma satisfatória, incluindo elementos combustíveis irradiados de reatores nucleares, radioisótopos, e fontes provenientes de combustão são exemplos de fontes de energia que podem ser aproveitadas na conversão direta.

A conversão indireta, em geral, implica na existência de ciclos termodinâmicos e mecânicos onde a eficiência da conversão está relacionada à eficiência dos vários processos envolvidos. A conversão direta, em geral, não envolve ciclos mecânicos nem termodinâmicos, usando poucos processos intermediários, apresentando porém baixa eficiência quando comparados com processos tradicionais de conversão indireta de energia.

A demanda mundial de energia cresce a cada ano e as fontes tradicionais (combustíveis fósseis) estão se tornando cada vez mais escassas com previsão de extinção em curto prazo de tempo. Desta forma, nenhuma fonte de energia deve ser descartada, nem mesmo aquelas que hoje apresentam baixa eficiência de conversão. Certos modos de conversão direta (isto é, células combustíveis) já demonstraram uma capacidade de produzir quantidades pequenas de energia elétrica com eficiência considerável.

A maioria das outras formas de conversão direta não são ainda notáveis por sua eficiência. Porém, muitos dos dispositivos ainda estão em fase de pesquisa em laboratório onde refinamentos estão sendo feitos continuamente.

A outra razão para estudar conversão direta é a necessidade de energia em forma local em momentos específicos. A habilidade para converter energia primária diretamente na forma exigida em seu ponto de uso seria uma realização principal.

Alguns dos modos de conversão de energia direta agora em uso são capazes de fazer isto. A área mais importante para conversão direta tem sido o campo de exploração espacial. O projeto de um conversor de energia é baseado, principalmente, no tipo de energia inicial a ser convertida.

Dentre os modos de conversão direta de energia estão os geradores termoelétricos que utilizam pares termoelétricos para realizar a conversão de calor em eletricidade. O principal efeito observado neste tipo de gerador é o efeito de *Seebeck*, onde os extremos de um par de fios metálicos são conectados e submetidos a um diferencial de temperatura gerando uma força eletromotriz. Este diferencial de temperatura é proporcionado pelas fontes quente e fria às quais as extremidades estarão submetidas. A intensidade da força eletromotriz gerada será proporcional ao gradiente de temperatura aplicado nas duas extremidades (junta quente e fria).

Uma das principais razões para estudar a conversão direta de energia é procurar um modo novo e melhor modelo para converter nossas atuais formas de energia primária em eletricidade. Tendo em vista esta necessidade e diante da importância desses fatores, objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver e construir um sistema de geração de energia a partir de células termovoltáicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os testes experimentais foram realizados no laboratório de protótipos do CEDIA - Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agricultura da Universidade Federal de Lavras - UFLA.

O trabalho foi dividido em duas etapas, na primeira etapa objetivou-se a realização de um ensaio para o levantamento da curva característica de saída da célula termovoltáica em função do gradiente de temperatura aplicado entre a face quente e fria. Na segunda etapa objetivou-se o desenvolvimento de um projeto de uma célula fotovoltaica capaz de converter um gradiente de temperatura, no caso adotou-se um gradiente de 65°C como parâmetro de entrada de projeto, com o objetivo de gerar um potencial elétrico de ≈ 12 V.

No ensaio da primeira etapa utilizou-se uma célula *Peltier* modelo TEC1-12726, dois dissipadores comuns encontrados em placas de computadores pessoais (PC), conforme ilustra a figura 45. A ideia foi utilizar um dos dissipadores como fonte quente acoplado uma resistência elétrica e no outro dissipador foi instalado um *cooler* como fonte fria de calor criando um gradiente de temperatura entre os dois dissipadores.

Conforme ilustra a figura 45, a célula foi montada entre os dois dissipadores. Utilizou-se pasta térmica nas superfícies para aumentar a eficiência das trocas térmicas, e as faces quente e fria foram isoladas termicamente por uma camada de isopor. Dois CI LM35 foram instalados como sensor de temperatura, um montado na fonte quente e outro montado na fonte fria de calor com o objetivo de medir o gradiente de temperatura entre as duas faces do dispositivo.

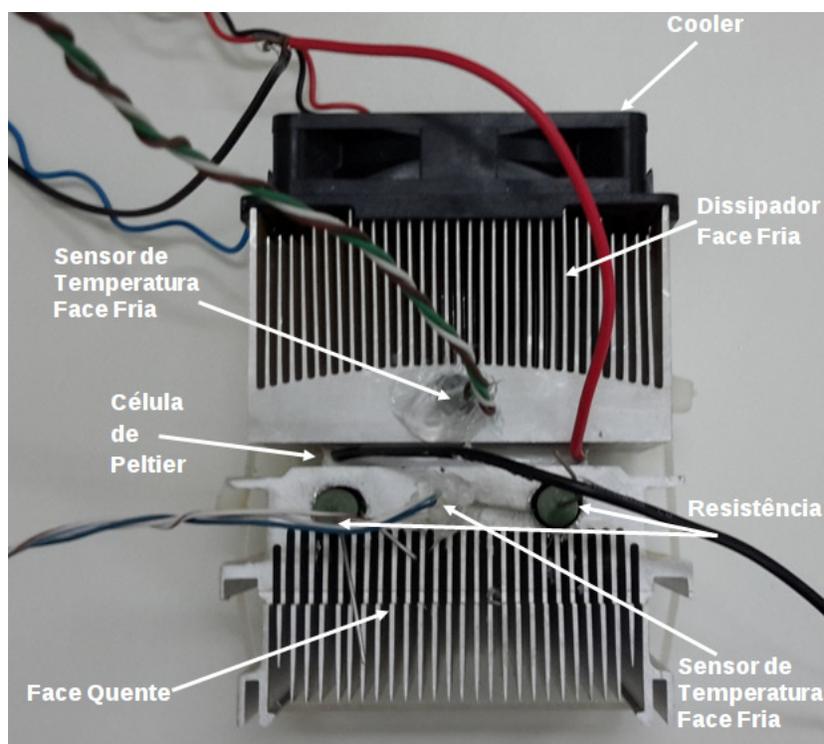


Figura 45 Forma de montagem Dissipadores.

Os sensores LM35, produzidos pela *National Semiconductor Corporation*, apresentam relação linear entre o sinal emitido e os valores de temperatura coletados, sendo alimentados com uma tensão de 5 V, o que possibilita sua conexão direta ao pino do conversor A/D de um microcontrolador.

A figura 46 mostra o encapsulamento e a pinagem dos sensores LM35 utilizados na montagem do hardware.

A figura 47 ilustra a montagem completa do experimento. Foi utilizado uma fonte de alimentação do fabricante Minipa modelo MPL 3303 M de corrente contínua para alimentar todo o sistema.

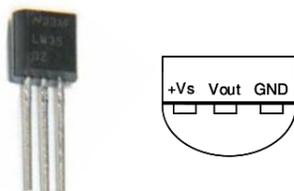


Figura 46 Encapsulamento e a pinagem do sensor de temperatura LM35.

Um circuito eletrônico microcontrolado foi desenvolvido para coleta de dados, conforme ilustra a figura 47. Este sistema de coleta de dados desenvolvido possui quatro canais analógicos, sendo que dois canais foram projetados para receber o sinal dos sensores de temperatura enviado pelo CI "LM 35" que gera um sinal de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ e mais dois canais analógicos restantes foram configurados para receber um valor em tensão entre 0 e 5 Vcc, funcionando assim como voltímetro.

O protótipo foi montado em um *protoboard* e submetido a testes em laboratório climatizado para avaliar a sua estabilidade de funcionamento, conforme ilustra a figura 47.

O microcontrolador escolhido e utilizado na implementação e desenvolvimento do coletor de dados foi o PIC16F877A, da empresa *Microchip*, de uso geral, empregado em sistemas de automação e controle, porém, de baixo custo, visando minimizar o custo global do sistema. O PIC16F877A é um componente de 40 pinos que possui um encapsulamento PDIP (*Plastic Dual In-Line Package*), cujos pinos são divididos em terminais de alimentação, reset, de conexão com o oscilador e os 33 terminais de portais I/Os e periféricos. Possui 8 entradas analógicas AD de 10 bits, 32 K de *Flash ROM (Read Only Memory)*, 256 bytes EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) e 1536 bytes de RAM (*Random Access Memory*) (WILMSHURST, 2007).

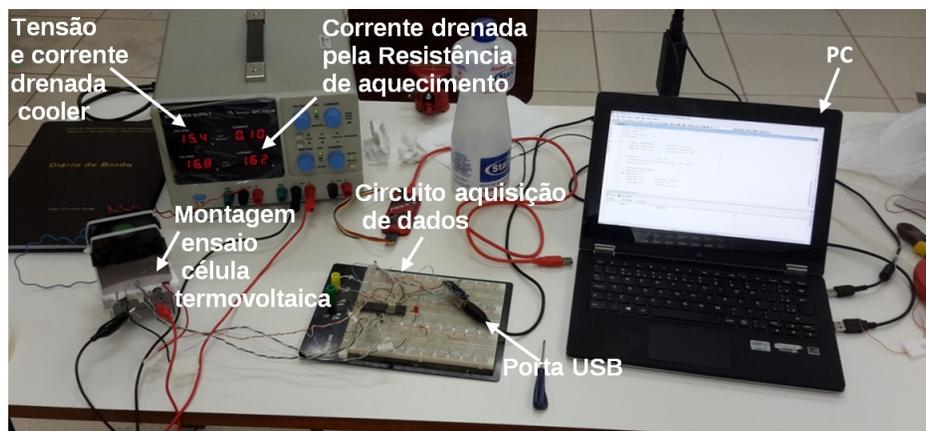


Figura 47 Disposição dos componentes do ensaio da célula termovoltáica.

Para o funcionamento correto de coletas dos sinais provenientes dos sensores LM35 o conversor analógico-digital (AD) do microcontrolador foi configurado para converter um sinal analógico, geralmente de 0 a 5 Vcc, em equivalentes digitais.

De acordo com *data sheet* do PIC16F877A, algumas configurações permitem ainda que os pinos AN2 e AN3 sejam usados como referência externa positiva e negativa, fazendo com que uma leitura seja feita em uma faixa de tensão mais restrita, ou seja, por exemplo, de 1 a 3 Vcc. Para este trabalho foi utilizado como referência 5 V.

O *software* do coletor de dados foi ajustado para resolução de 10 bits. Para um conversor A/D com resolução de 10 bits e tensão de referência padrão de +5 V, o valor de cada bit será igual a $5/(2^{10} - 1) = 4,8876\text{mV}$, ou seja, para um resultado igual a 200 (decimal), tem-se uma tensão de $200 * 4,8876\text{mV} = 0,97752\text{V}$.

O diagrama em blocos da figura 48 ilustra as principais etapas do sistema criado para a coleta de dados.

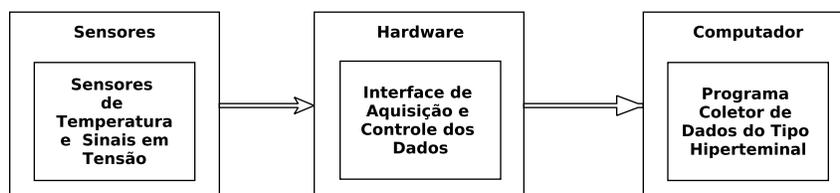


Figura 48 Diagrama de blocos sistema coletor de dados.

O circuito eletrônico desenvolvido para a coleta de dados utiliza um microcontrolador PIC modelo 16F877A e possui um programa embarcado que segue o fluxograma ilustrado pela figura 49, desenvolvido em linguagem C++ para o controle do dispositivo.

Utilizou-se como compilador para o *Software* embarcado no microcontrolador o programa MicroC na sua versão estudante e para o desenho do circuito eletrônico do sistema de coleta de dados o programa *Eagle* na sua versão estudante.

A técnica utilizada para o envio dos dados de tensão e temperatura para o sistema de arquivamento externo dos dados foi a criação e montagem de uma sentença concatenada, adicionando o marcador do tipo "ANO;AN1;AN2;AN3", formando a sentença que é enviada de forma serial para uma porta USB em intervalos regulares de 30s. Em um PC foi instalado um programa do tipo *Hiperterminal* conectado à porta USB do microcontrolador, estabelecendo assim uma comunicação serial entre (Coletor de Dados)⇒(PC).

Os valores recebidos na USB do PC foram armazenados em um arquivo tipo texto, que é renomeado para .csv manualmente, possibilitando assim, depois deste processo, a leitura por uma planilha eletrônica. No caso, foi utilizado programa "*LibreOffice Calc*" o que viabiliza o processo inverso, ou seja, o processo de separação da sentença concatenada anteriormente "ANO;AN1;AN2;AN3" nas informações "ANO" "AN1" "AN2" e "AN3".

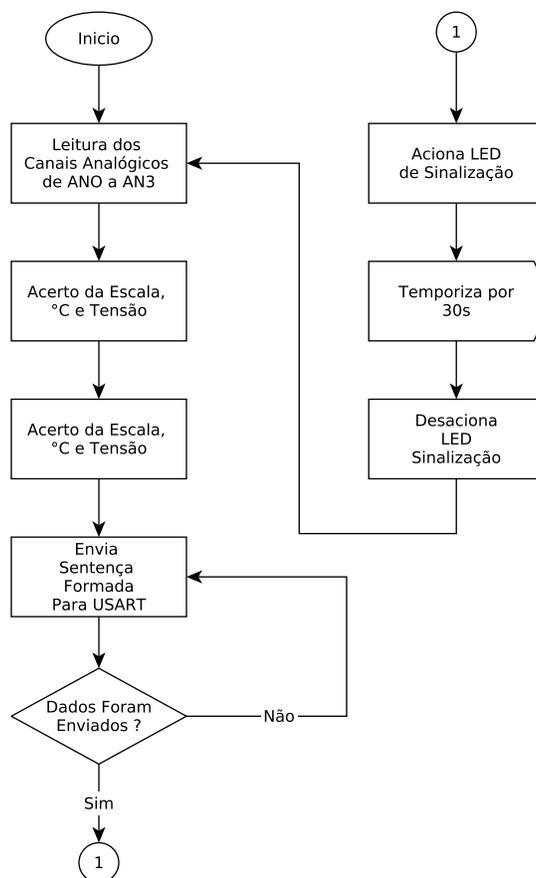


Figura 49 Fluxograma simplificado do *software* embarcado no microcontrolador.

Para a composição dos gráficos e análise de correlação/regressão utilizou-se o programa "QtiPlot" na sua versão 0.9.8.9 svn 2288.

Baseando-se na curva característica de saída obtida na primeira etapa do ensaio, foi possível estimar a tensão gerada por cada célula de *Peltier* quando submetido a um determinado gradiente de temperatura fora da faixa de temperatura obtida no experimento.

Segundo Campos (2009), a temperatura de trabalho do líquido do circuito de arrefecimento de um motor de explosão interna gira em torno de $T_M = 90^\circ\text{C}$, adotando também que a temperatura média ambiente é $T_A = 25^\circ\text{C}$, obtém-se:

$$T_{GM} = T_M - T_A \quad (45)$$

Para a determinação dos parâmetros, utilizou-se da técnica de regressão linear e a sua equação da reta, possibilitando de forma correta o dimensionamento do número de células de *Peltier* necessário para gerar uma tensão de trabalho de $\approx 12\text{V}$, para um gradiente de temperatura médio $T_{GM} = 65^\circ\text{C}$.

Um conjunto mecânico básico foi desenvolvido para condicionamento das células de *Peltier*, ilustrado na figura 50 vista 3D. A figura 51 ilustra os componentes principais em uma vista 3D explodida; nela pode-se verificar a disposição física do conjunto de células de *Peltier* suficientes para gerar uma tensão de $\approx 12\text{V}$. Pode-se verificar também a existência de um trocador de calor com entrada/saída permitindo a circulação de um fluido de refrigeração auxiliando na dissipação de calor na face fria aumentando a eficiência do sistema. Utilizou-se um programa CAD para o projeto mecânico, no caso, o "Solid Works" 2010 na sua versão estudante.

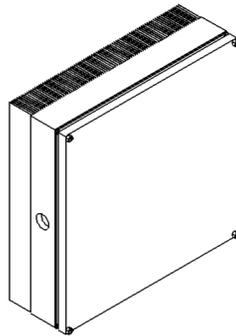


Figura 50 Vista 3D da montagem célula fotovoltaica.

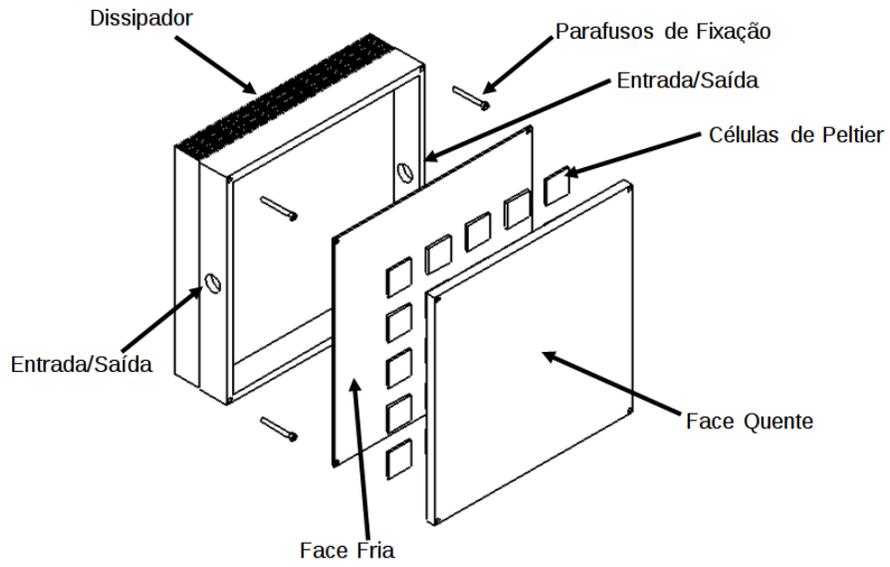


Figura 51 Vista explodida da célula termovoltáica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No gráfico, representado pela figura 52, é mostrada a evolução da temperatura na face quente da célula de *Peltier*. Nota-se que a temperatura iniciou em torno de $\approx 22,5^{\circ}\text{C}$ e teve um pico máximo em torno de $\approx 64,5^{\circ}\text{C}$.

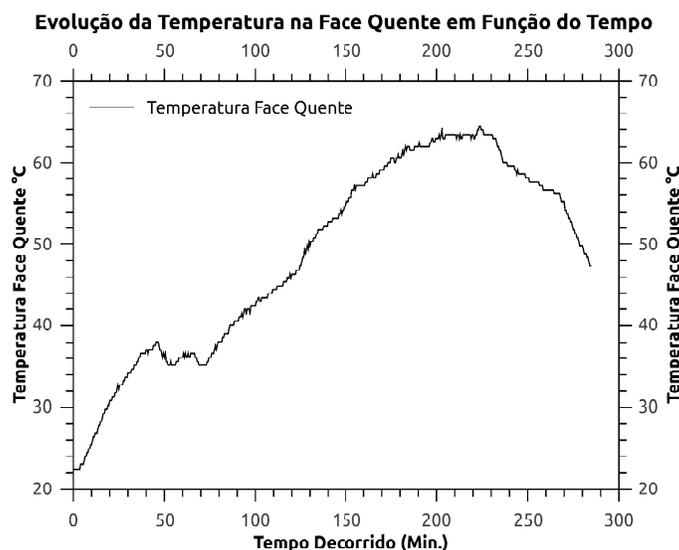


Figura 52 Gráfico da curva de temperatura da face quente.

O gráfico ilustrado na figura 53 apresenta a evolução da temperatura na face fria da célula de *Peltier*; nota-se que a temperatura teve seu início em $\approx 22,5^{\circ}\text{C}$ com um pico máximo em $\approx 30,8^{\circ}\text{C}$, ou seja, teve um aumento de $\approx 8,3^{\circ}\text{C}$ em relação ao início do experimento ficando claro que o sistema de refrigeração instalado na face fria funciona com relativa eficiência.

O gráfico representado pela figura 54 apresenta a evolução da tensão gerada pela célula de *Peltier*; nota-se que a tensão iniciou em $\approx 0,04\text{V}$ e teve seu pico em $\approx 1,5\text{V}$.

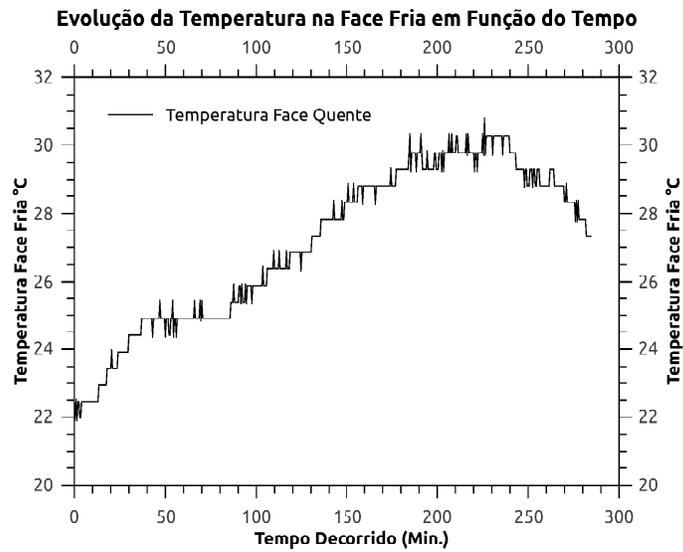


Figura 53 Gráfico da curva de temperatura da face fria.

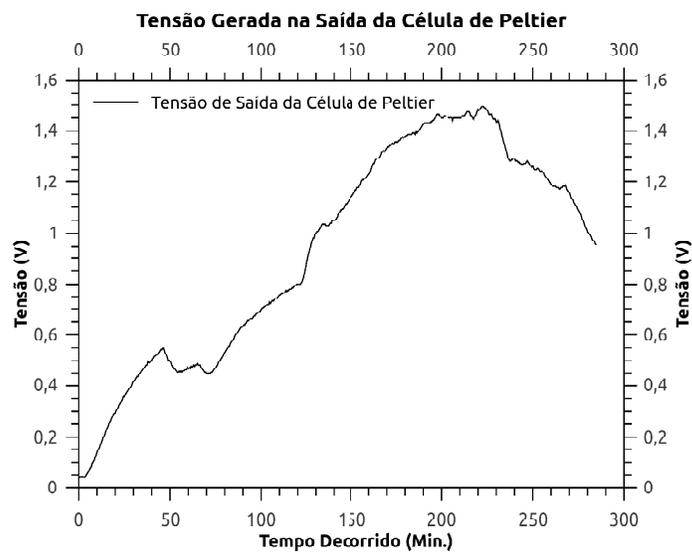


Figura 54 Gráfico da curva da tensão gerada na saída célula de *Peltier*.

No gráfico da 55 é apresentada a evolução do gradiente de temperatura entre as faces quente e fria da célula de *Peltier*; nota-se que a temperatura teve seu início em $\approx 0,0^{\circ}\text{C}$ com um pico em $\approx 34,7^{\circ}\text{C}$.

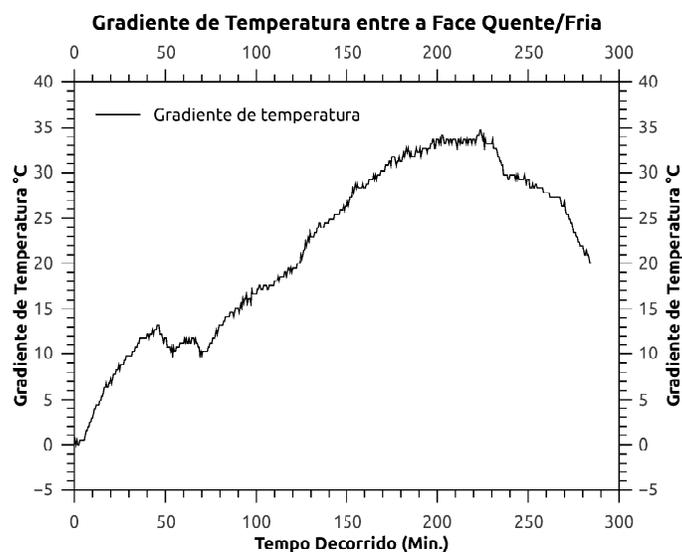


Figura 55 Gráfico do gradiente de temperatura gerado pela face quente e fria em função do tempo.

No gráfico da figura 56 é apresentada a evolução do gradiente de temperatura entre as faces quente e fria da célula de *Peltier* em função da tensão gerada em sua saída. Nota-se que a tensão gerada na saída da célula de *Peltier* teve seu início em $\approx 0,0\text{V}$, quando aplicado um gradiente de temperatura de $\approx 0^{\circ}\text{C}$ e o valor de tensão gerada na saída da célula de *Peltier* teve seu pico em $\approx 1,5\text{V}$, quando aplicado um gradiente de temperatura de $\approx 34,7^{\circ}\text{C}$.

Aplicando a regressão linear na curva de resposta, conforme ilustra a figura 56, obteve-se como resultado $r^2 = 0,9964$, ou seja, pode-se afirmar que os dados do modelo experimental se aproximam em 99,64% dos dados do modelo teórico, ou que a evolução dos valores da tensão gerada na saída da célula de *Peltier* é explicada em 99,64% da evolução dos valores do gradiente aplicado entre as faces quente e fria da célula.

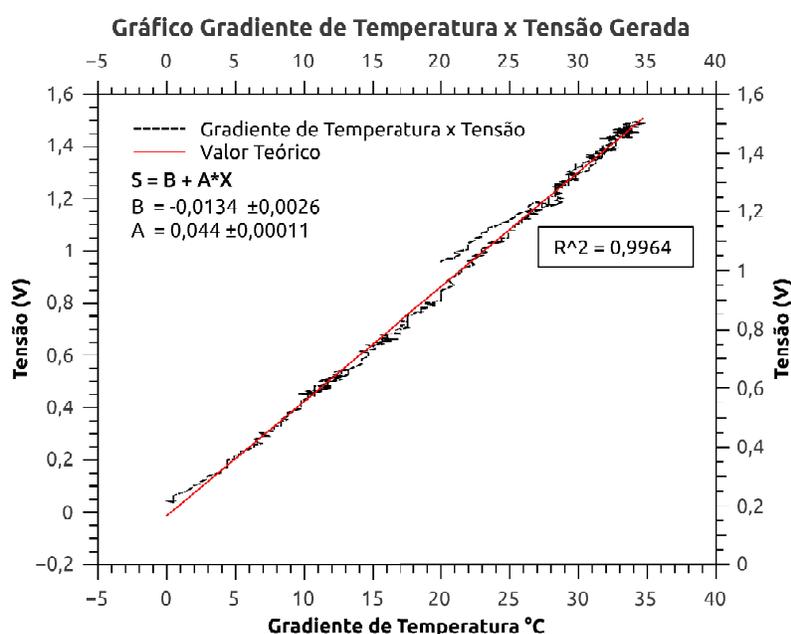


Figura 56 Gráfico do gradiente de temperatura gerado pela face quente e fria em função da tensão gerada na saída da célula de *Peltier*.

Baseando-se na equação da reta que representa a regressão linear da função da tensão de saída gerada por uma célula de *Peltier*, conforme resultado do experimento realizado, foi possível construir a tabela ilustrada pela figura 57 que permite estimar a quantidade de células necessárias para se obter uma determinada tensão de saída para um gradiente de temperatura aplicado nas faces quente e fria da célula.

Pode-se verificar, na tabela ilustrada na figura 57, que para se obter uma tensão de saída de 12 V aplicando um gradiente de temperatura de 65°C são necessárias 5 unidades da célula de *Peltier* modelos TEC1 - 12726.

Tabela Estimativa da Quantidade de Célula Peltier x Tensão na Saída Para o Modelo TEC1 - 12726																								
Gradiente (°C)	Tensão Desejada na Saída da Célula (V)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5	5	10	15	20	25	30	35	39	44	49	54	59	64	69	73	78	83	88	93	98	103	107	112	117
10	3	5	8	10	12	15	17	19	22	24	26	29	31	33	36	38	40	43	45	48	50	52	55	57
15	2	4	5	7	8	10	11	13	14	16	18	19	21	22	24	25	27	28	30	32	33	35	36	38
20	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	23	24	25	26	27	28
25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
30	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19
35	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12	13	14	14	15	16	16
40	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13	14	14
45	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13
50	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12
55	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	11
60	1	1	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	11
65	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9
70	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8
75	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8
80	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7
85	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	7	7
90	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7
95	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6
100	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6

Figura 57 Tabela de estimativa da quantidade de célula *Peltier* x tensão gerada na saída para o modelo TEC1 - 12726.

A corrente típica da saída da célula quando submetida a um gradiente de temperatura de 65°C é de 200mA; considerando a tabela ilustrada pela figura 57 serão necessárias 25 unidades do modelo TEC1 - 12726 interligadas conforme ilustra a figura 58.

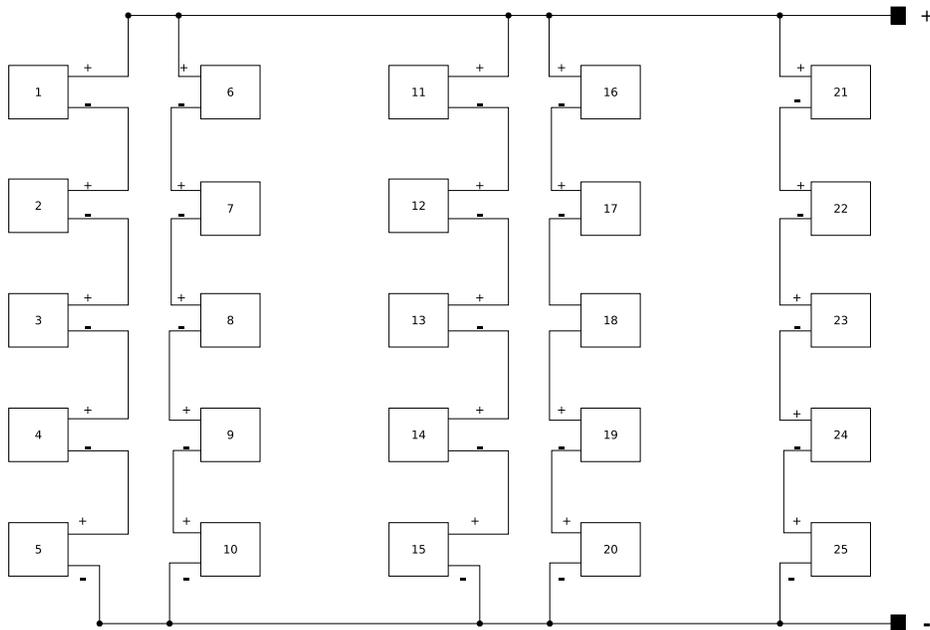


Figura 58 Diagrama de interligação elétrica de uma matriz de célula termovoltáica para geração de um potencial de ≈ 12 V e uma corrente ≈ 1 A de saída.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que é possível a conversão direta de energia térmica em energia elétrica utilizando o efeito *Seebeck/Peltier*.

O sistema proposto constitui-se em uma alternativa eficiente, de baixo custo, circuito eletro/eletrônico sem complexidade e de fácil implementação.

Com os resultados deste trabalho foi possível estabelecer parâmetros e metodologia de projeto para outros cenários de tensão, corrente e gradiente de temperatura a partir do modelo proposto possibilitando, assim a construção de uma tabela de valores que podem ser utilizados como base para futuros projetos.

Verificou-se que é possível a partir do modelo proposto o aproveitamento da energia térmica disponível em qualquer processo na geração de energia elétrica, melhorando a eficiência total do sistema e contribuindo para o aproveitamento máximo do balanço energético de um sistema térmico buscando maior eficiência total.

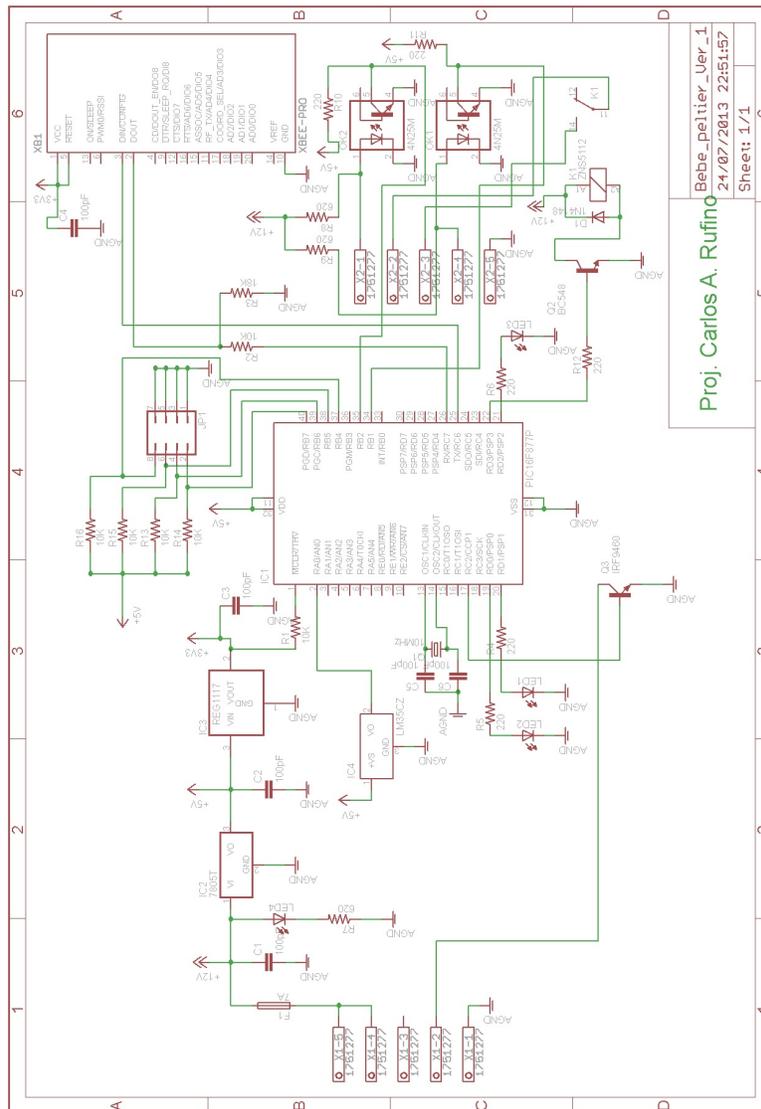
REFERÊNCIAS

CAMPOS, E. R. V. **Modelagem do uso de nanofluidos no sistema de arrefecimento de motores a combustão interna.** 2009. 97 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2009.

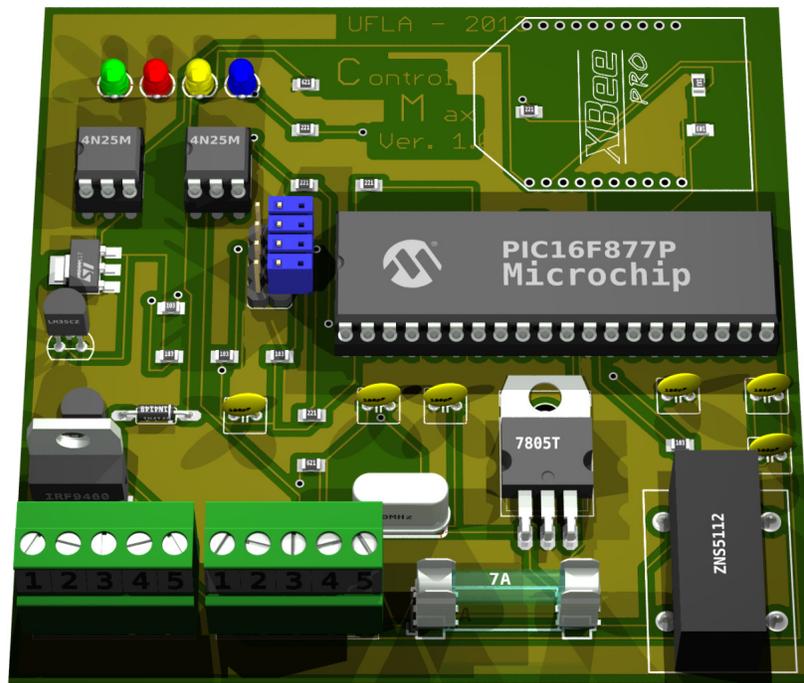
WILMSHURST, T. **Designing embedded systems with pic microcontrollers: principles and applications.** London: Elsevier, 2007. 556 p.

ANEXOS

ANEXO A - DIAGRAMA ELETRÔNICO DA PLACA CONTROLADORA PID COM COMUNICAÇÃO SEM FIOS LUVIA/NIPPLE



ANEXO C - PLACA DE CONTROLADORA PID COM COMUNICAÇÃO SEM FIOS PARA BEBEDOURO TIPO NIPPLE/LUVA



**ANEXO D - VISTA 3D MONTAGEM MECÂNICA LUIVA REFRIGERADA
COM TEMPERATURA CONTROLADA UTILIZANDO EFEITO PELTIER**

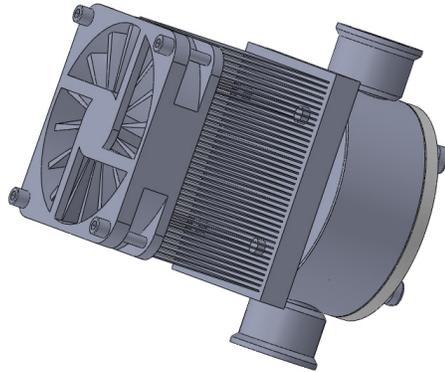


Figura 59 (a) Vista 3D montagem mecânica da luva refrigerada.

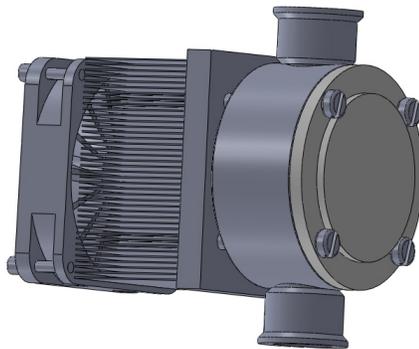


Figura 60 (b) Vista 3D montagem mecânica da luva refrigerada.

**ANEXO E - VISTA 3D MONTAGEM MECÂNICA BEBEDOURO TIPO
NIPPLE REFRIGERADO COM TEMPERATURA CONTROLADA UTILI-
ZANDO EFEITO PELTIER**

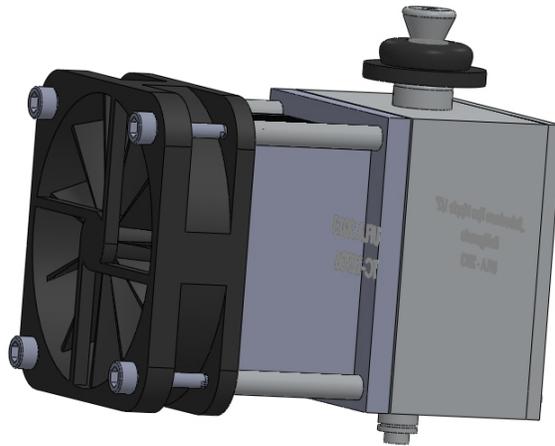


Figura 61 Vista 3D montagem mecânica da bebedouro tipo *nipple* refrigerado.

**ANEXO F - PROGRAMA EMBARCADO NO MICROCONTROLADOR
DA PLACA CONTROLADORA PID COM COMUNICAÇÃO SEM FIOS
LUVA/NIPPLE**

ControlMax

Autor: Carlos A. Rufino

Versão 1.0

UFLA 2013

Compilador MickoC ver.3.0

```
void main()
{
unsigned int valor, control, valor_canal1; Variáveis para leitura do ADC e o sinal
de Controle do modulo CCP
unsigned short current_duty;
float a,b,c; Constantes para parâmetros do controlador PID
float TEMPERATURA_LIMITE; Referência de Temperatura
float rt,eT,iT,dT,yT,uT,iT0,eT0,Tx_vi,Tx_vf,yT_amb; Variáveis do controlador
PID
float max,min Variáveis para antiwindup
char atual_valor_texto[4]="bd1" endereço do bebedouro na rede
char var_medida[20]
char StrMens[20]
char uart_rd;
min=0.0;
max=1000.0;
iT0=0.0;
```

```
eT0=0.0;
a=4.51; Valor da ação proporcional
b=0.00902; Valor da ação integral
c=563.75; Valor da ação Derivada
Tx_vi=999.0;
Tx_vf=888.0;
TEMPERATURA_LIMITE=500.0; Set Point r(kT)= 17°C
PWM1_Init(1000); Configuração de Timer 2 para estabelecer freq. PWM a 1kHz
PWM1_Start(); Configurar módulo CCP1 no modo PWM
trisa = 0xFF; Configuração dos Portas como entrada e saída
trisb = 0b00100010;
trisc = 0x80;
trisd = 0x00;
ADCON1=0b00000010;
UART1_Init(9600); inicialização módulo UART1 e configuração da taxa de
transmissão serial
Delay_ms(100); aguarda estabilização da USART
Portd=0; desliga todas as saídas do Port D
Portb=0; desliga todas as saídas do Port B
while(1){
if(portb.f5 ==1) Liga água
{ delay_ms(30);
portd.f3=1;
intToStr(Tx_vi,var_medida);
Strcat(var_medida,atual_valor_texto);
Strcat(var_medida,"\ r \ n");
```

```
UART1_Write_Text(var_medida);
}
if(portb.f1 ==1) //Desliga água
{
delay_ms(30);
portd.f3=0;
intToStr(Tx_vf,var_medida);
Strcat(var_medida,atual_valor_texto);
Strcat(var_medida,"\\ r \\ n");
UART1_Write_Text(var_medida);
}
valor=ADC_Read(0); //Ler ADC
valor_canal1=ADC_Read(1); //Ler ADC
yT=5000.0*valor/1024.0; //Ajuste da escala do sinal de saída y(kT)
yT_amb=5000.0*valor_canal1/1024.0; //Ajuste da escala do sinal de saída
y(kT)
rT=TEMPERATURA_LIMITE;
eT=yT-rT; //Calcular ERRO e(kT)
iT=b*eT+iT0; //Calcula integral i(kT)
dT=c*(eT-eT0); //Calcula derivada d(kT)
uT=iT+a*eT+dT; //Calcula sinal de controle u(kT)
if(eT>=10)
portd.f0=1;
else
portd.f0=0;
if(eT<=10)
```

```
portd.f2=1;
else
portd.f2=0;
if((eT<10)&&(eT>-10)){
portd.f1=1;
portd.f0=0;
portd.f2=0;
} else
portd.f1=0;
intToStr(yT,var_medida);
Strcat(var_medida,atual_valor_texto);
Strcat(var_medida,"\ r \ n"); UART1_Write_Text(var_medida);
if (uT>max){ //Anti-windup
uT=max;
}
else {
if (uT<min){
uT=min;
}}
control=uT;
PWM1_Set_Duty(control); //Transferência do sinal de controle para o atuador
iT0=iT;
eT0=eT;
delay_ms(100); //Período de amostra T=0.1s
} }
```

ANEXO G - TELA DO PROGRAMA CONTROLMAX REGISTRADO NO INPI SOB N. BR5120130011299, DESENVOLVIDO PARA COMUNICAÇÃO COM A PLACA CONTROLADORA BEBEDOURO TIPO NIPPLE/LUVA.

The screenshot displays the ControlMax software interface. At the top, it shows the title bar: "ControlMax - UFPA - Universidade Federal de Minas Gerais - V.1.0" and menu options: "Arquivo", "Utilitários", "Relatórios", "Ajuda".

The main area contains five monitors for different water dispensers, labeled "Bebedouro 1" through "Bebedouro 5". Each monitor displays a vertical scale from 0 to 50°C. The current temperature is shown in red: 20°C for Bebedouro 1, 25°C for Bebedouros 2, 3, and 4, and 0°C for Bebedouro 5. To the right of the monitors are labels for "Temp. Ambiente" (0°C) and "R% Ambiente" (0%).

Below the monitors is a "Configurações da Porta Serial" section. It includes a "Porta" dropdown menu (set to COM1), a "Paridade" dropdown menu (set to Nenhum), and a "Bt de Parada" dropdown menu (set to 1). There are also buttons for "Abrir Porta", "Fechar Porta", "Sobre", and "Sair".

At the bottom, there is a data table with the following columns: Código, data, hora, temp_ambiente, umid_ambiente, id_bebedouro, temp_bebedouro, and consumo. The table contains five rows of data.

Código	data	hora	temp_ambiente	umid_ambiente	id_bebedouro	temp_bebedouro	consumo
130	12/07/2013	15:31:48	50	50	bd5	13,6	25
129	12/07/2013	15:31:48	50	50	bd4	0	25
128	12/07/2013	15:31:48	50	50	bd3	20	25
127	12/07/2013	15:31:48	50	50	bd2	20	25
126	12/07/2013	15:31:48	50	50	bd1	20,5	25

ANEXO I - PROGRAMA EMBARCADO NO MICROCONTROLADOR DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Programa Datalogger Versão 1.0

Autor: Carlos A. Rufino

Data: Novembro de 2015 Compilador MicroC

UFLA - Universidade Federal de Lavras

```
char uart_rd;
int valor,valor1,valor2,valor3;
float yT,yT1,yT2,yT3;
char texto[40],texto1[10],texto2[10],texto3[10];
void main()
{
TRISC=0b01000000;
TRISD=0x00;
Configura AN como entrada digital TRISA = 0x01111111b;
ADCON1=0b00000010;
UART1_Init(9600); Inicializa UART módulo com uma taxa de 9600 bps
Delay_ms(100); Aguarda UART módulo estabilizar
UART1_Write_Text("Programa Datalogger - Ufla 2015");
UART1_Write(10);
UART1_Write(13);
while (1)
{ loop infinito
valor=ADC_Read(0); Ler ADC*
```

```
valor1=ADC_Read(1); Ler ADC*
valor2=ADC_Read(2); Ler ADC*
valor3=ADC_Read(3); Ler ADC*
yT=((5000.0/1024.0)valor)/10.0;Corrige o valor do canal analógico com a
medida em Temperatura
FloatToStr(yT,texto);
yT1=((5000.0/1024.0)*valor1)/10.0;//Corrige o valor do canal analógico com a
medida em Temperatura
FloatToStr(yT1,texto1);
yT2=5*valor2/1024.0;
FloatToStr(yT2,texto2);
yT3=(5*valor3/1024.0)*250;//Corrige valor do canal analógico medida em tensão
FloatToStr(yT3,texto3);
strcat(texto,",");
strcat(texto,texto1);
strcat(texto,",");
strcat(texto,texto2);
strcat(texto,",");
strcat(texto,texto3);
strcat(texto,",");
if (UART1_Data_Ready()) { se os dados forem recebidos,
uart_rd = UART1_Read(); leitura dos dados recebidos,
UART1_Write(uart_rd); envia dados via UART
} PORTD.RD1 = 1; liga LED
UART1_Write_Text("Programa Datalogger - Ufla 2015");
UART1_Write('\n');
```

```
UART1_Write_Text(texto);  
UART1_Write(10);  
UART1_Write(13);  
Delay_ms(2000); aguarda 2 segundos  
PORTD.RD1 = 0; desliga led  
Delay_ms(2000); aguarda 2 segundos  
} }
```