

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PROCESSO DE INCUBAÇÃO ARTIFICIAL DE OVOS:  
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE  
TEMPERATURA E MASSA**

**LEONARDO ALVARADO MORA**

CAMPINAS  
NOVEMBRO DE 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PROCESSO DE INCUBAÇÃO ARTIFICIAL DE OVOS:  
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE  
TEMPERATURA E MASSA**

Dissertação submetida à banca examinadora  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Agrícola na área de concentração  
de Máquinas Agrícolas.

**LEONARDO ALVARADO MORA**

**Orientador: Prof. Dr. Nelson Luis Cappelli.**

CAMPINAS  
NOVEMBRO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -  
UNICAMP

AL86p Alvarado Mora, Leonardo  
Processo de incubação artificial de ovos:  
desenvolvimento de sistemas de medição de temperatura  
e massa / Leonardo Alvarado Mora. --Campinas, SP:  
[s.n.], 2008.

Orientador: Nelson Luis Cappelli.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Ovos - Incubação. 2. Ovos - Temperatura. 3.  
Incubadoras. I. Cappelli, Nelson Luis. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia  
Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Artificial incubation process of eggs: development of  
temperature and mass measuring systems

Palavras-chave em Inglês: Egg incubation, Egg Temperature, Incubation

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Ricardo Yassushi Inamasu, Daniella Jorge de Moura

Data da defesa: 19/11/2008

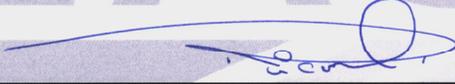
Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Leonardo Alvarado Mora**, aprovada pela Comissão Julgadora em 19 de novembro de 2008, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



---

**Prof. Dr. Nelson Luis Cappelli – Presidente e Orientador**  
Feagri/Unicamp



---

**Dr. Ricardo Yassushi Inamasu- Membro Titular**  
Embrapa/CNPDIA



---

**Profª. Drª. Daniella Jorge de Moura**  
Feagri/Unicamp

Faculdade de  
**Engenharia Agrícola**  
Unicamp

*Dedico este trabalho a Deus acima de tudo e  
aos meus queridos pais Ernesto Alvarado e  
Blanca Mora.*

*A minhas irmãs Olga Liliana, Yanira e  
Ximena, aos meus sobrinhos Juan Manuel,  
Felipe y Sofía e aos demais membros da  
minha numerosa família que sempre me  
ajudaram e apoiaram.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Prof. Dr. Nelson Luis Cappelli, pela oportunidade, confiança, paciência, amizade e compreensão durante as fases deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Claudio Kiyoshi Umezu pela imensa ajuda no planejamento e desenvolvimento dos testes práticos e pelo aporte de toda sua experiência.

À Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI da Universidade Estadual de Campinas pela oportunidade de ampliar e melhorar meus conhecimentos.

À empresa CASP S.A. Indústria e Comércio, pela ajuda e assessoria no desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus pais pelo apoio econômico e moral sempre incondicional.

Aos meus grandes amigos, Admilson Ribeiro e Regina M. Longo pela imensa ajuda oferecida na minha chegada ao país, pela amizade sincera e pelos bons conselhos dados durante todo este tempo.

Aos meus amigos e colegas do Laboratório de Instrumentação e Controle (LIC) Angel P. García, Carlos E. Romanini, Edison Russo e Felipe Silva pela ajuda e sugestões proporcionadas.

Aos meus amigos e colegas da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) Carolina Sánchez, Camilo Salcedo, Márcio W. Roque, Anderson Luiz de Souza e Agmon Moreira Rocha pela enorme cooperação e colaboração.

Aos meus amigos colombianos da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp pelo apoio, amizade e companhia nos momentos que mais precisei.

Aos moradores da “casa estudio” pela amizade e convivência.

Aos meus grandes amigos Rafael Pinzón, Fabián Charry, Albeiro Figueroa e Nelson Granados e demais amigos e amigas na Colômbia que sempre me apoiaram desde lá.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	x
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 INCUBAÇÃO ARTIFICIAL.....	4
2.1.1 Tipos de Incubadoras.....	4
2.1.2 Funcionamento ótimo da máquina incubadora.....	5
2.1.3 Variáveis relevantes que afetam a incubação de ovos.....	5
2.1.3.1 Temperatura.....	6
2.1.3.2 Umidade Relativa e do Ovo .....	12
2.2 ASPECTOS BÁSICOS DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO.....	18
2.2.1 Planejamento experimental de testes.....	19
2.2.2. Calibração.....	19
2.2.2.1 Calibração Estática.....	20
2.2.2.2. Calibração Dinâmica.....	20
2.2.3. Fatores que intervêm no sistema de medição.....	21
2.2.3.1. Linearidade.....	21
2.2.3.2. Histerese.....	22
2.2.3.3. Repetitividade.....	22
2.2.3.4. Sensibilidade.....	22
2.2.3.5. Precisão.....	22
2.2.3.6. Exatidão.....	23
2.2.3.7. Resolução.....	24
2.2.4. Características dos sinais.....	25
2.2.5. Condicionamento de sinal.....	26
2.2.5.1. Amplificação.....	26
2.2.5.2. Atenuação.....	26
2.2.5.3. Filtragem.....	27
2.2.5.4. Diferenciação e integração.....	28
2.2.6. Sistemas de aquisição de dados.....	28
2.3. SENSORES DE FORÇA.....	30
2.3.1. Células de carga.....	30
2.3.1.1. Células de carga com extensômetros.....	31
2.4. SENSORES DE TEMPERATURA.....	32
2.4.1 Sensores de circuitos integrados.....	33
2.4.2. Termômetros Infravermelhos.....	33
3. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DE PERDA DE MASSA DE OVOS EM MÁQUINAS DE INCUBAÇÃO.....	35
3.1. RESUMO.....	35
3.2. ABSTRACT.....	36
3.3. INTRODUÇÃO.....	37

3.4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.4.1. Calibração do sistema de pesagem.....	39
3.5. RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	42
3.5.1. Calibração na capacidade nominal.....	42
3.5.2. Calibração na faixa de utilização.....	43
4. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR SENSORES COM CONTATO EM OVOS PARA INCUBAÇÃO.....	46
4.1. RESUMO .....	46
4.2. ABSTRACT .....	47
4.3. INTRODUÇÃO.....	48
4.4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
4.4.1. Dispositivo de medição de temperatura .....	50
4.4.2. Calibração dos sensores.....	51
4.4.3. Validação do sistema de medição.....	53
4.4.4. Realização dos testes práticos .....	56
4.5. RESULTADOS .....	57
4.5.1. Calibração estática.....	57
4.5.2. Validação do sistema de medição.....	59
4.6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES .....	64
5. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DE OVOS PARA INCUBAÇÃO COM SENSORES DE CONTATO E SEM CONTATO.....	66
5.1. RESUMO .....	66
5.2. ABSTRACT .....	67
5.3. INTRODUÇÃO.....	68
5.4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	69
5.4.1. Medição da temperatura com contato na casca .....	70
5.4.2. Medição da temperatura sem contato na casca.....	70
5.4.3. Montagem e realização dos ensaios.....	71
5.5. RESULTADOS .....	72
5.5.1. Cálculo da Função Transferência .....	77
5.6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES .....	79
6. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO.....	81
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
8. APÊNDICE .....	91

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais fatores que intervêm no desenvolvimento do embrião. (Adaptado de Van Brecht <i>et al.</i> . (2001)) .....	6
Figura 2. Temperatura requerida do ar na máquina de estágio único para incubar ovos à temperatura ótima. Ensaio feito por diversas empresas de incubação. ....	8
Figura 3. Temperatura de ovos de perus incubados a 37.5 °C (Adaptado de French (1997)). ....	9
Figura 4. Produção de calor metabólico e perda de calor por evaporação em ovos de galinha durante a incubação. (Adaptado de French (1997)). ....	11
Figura 5 Tamanho da câmara de ar do ovo no processo de incubação. ....	13
Figura 6. Perda de massa do ovo. (Adaptado de Brinsea (2006)). ....	13
Figura 7. Esquema da viragem dos ovos na incubadora.....	17
Figura 8. Viragem dos ovos em uma máquina incubadora. ....	17
Figura 9. Componentes de um sistema geral de medição.....	18
Figura 10. Fatores que afetam um sistema de medição. (Adaptado de Figliola e Beasley (2000)). ....	23
Figura 11. Ilustração da precisão, exatidão e do erro médio. Adaptado de Figliola e Beasley (2000) .....	24
Figura 12. Distinção entre erro aleatório e sistemático. Adaptado de Wheeler e Ganji (2004). ....	25
Figura 13. Tipos de filtros elétricos.....	28
Figura 14. Elementos básicos de um sistema de aquisição de dados. ....	29
Figura 15. Células de carga com extensômetros. ....	32
Figura 16. Localização das células de carga na prateleira de incubação.....	38
Figura 17. Indicador transmissor de pesagem .....	39
Figura 18. Disposição dos ovos para calibração do sistema de medição de pesagem .....	40
Figura 19 Erro entre massa referência e massa calculada na faixa de utilização .....	45
Figura 20. Dispositivo de medição de temperatura. ....	51
Figura 21. Localização dos sensores para medição de temperatura. 1,2, 3: Medição na casca. 4: Medição do ambiente a 10 mm da casca. 5 6,7: Interior do ovo. ....	51
Figura 22. Equipo de calibração e aquisição de dados .....	52
Figura 23. Túnel de ar para validação. ....	54
Figura 24. Ventilador centrífugo e banco de resistências.....	55
Figura 25. Instrumentação do ovo para ensaios .....	55
Figura 26. Disposição dos ensaios práticos. ....	56
Figura 27. Esquema para realização dos ensaios.....	57
Figura 28. Valor Absoluto do erro entre Temperatura de Referência e Calculada .....	58
Figura 29. Curva de Calibração de sensores e reta de referência .....	59
Figura 30. Registro da temperatura para fluxo de calor do exterior para o interior do ovo. ....	61
Figura 31 .Registro da temperatura para fluxo de calor do interior para o exterior do ovo .....	64
Figura 32. Dispositivo de medição com contato na casca .....	70
Figura 33. Sensor infravermelho .....	71

Figura 34. Montagem dos dispositivos para registro da temperatura com contato e sem contato .....	72
Figura 35. Registro da temperatura para fluxo de calor do exterior para o interior do ovo. ....	74
Figura 36. Registro da temperatura para fluxo de calor do interior para o exterior do ovo .....	76
Figura 37 Registro dos sensores com e sem contato em condições de regime permanente.....	77
Figura 38. Esquema do cálculo da função de transferência para o sensor com contato.....	78
Figura 39. Esquema do cálculo da função de transferência para o sensor sem contato .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Condutividade térmica dos principais componentes do ovo Fonte: Spells (1960) e Sabliov <i>et al.</i> (2002). .....	10
Tabela 2 Principais especificações dos sensores de força (Adaptado de Alfainstrumentos) ....	38
Tabela 3 Amostra de ovos utilizados para calibração .....	40
Tabela 4. Resultados da calibração estática para a capacidade nominal .....	42
Tabela 5. Validação do sistema de pesagem para condições de viragem.....	43
Tabela 6 Calibração para faixa de utilização.....	44
Tabela 7. Principais especificações do sensor LM50 .....	50
Tabela 8. Características do ovo instrumentado .....	55
Tabela 9. Resultados da calibração estática.....	58
Tabela 10. Principais especificações do sensor infravermelho .....	71

## RESUMO

O aumento na demanda da produção de avicultura de corte no Brasil faz que seja necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que melhorem a operacionalidade das máquinas incubadoras. Na atualidade existem problemas no controle de variáveis físicas no espaço confinado das incubadoras que impedem maximizar a eclosão dos ovos e afetam o desempenho do pintainho pós-eclosão. Dois destas variáveis que são tema de estudo neste trabalho são a temperatura do embrião e a perda de massa do ovo, as quais são determinantes em todo o processo pois afetam as taxas de bicagem interna e de nascimentos com sucesso. Não existem dispositivos que quantifiquem estes fatores, causando o seu desconhecimento dentro das incubadoras.

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de medição de temperatura por sensores com contato, comparando o seu funcionamento com um sensor sem contato (Infravermelho), utilizado em medições preliminares dentro das máquinas. Foi também desenvolvido um sistema de medição de peso para quantificar a perda de massa do ovo.

Para a medição da temperatura com contato foi desenvolvido um dispositivo com cinco sensores tipo circuito integrado previamente calibrados, dos quais, três foram dispostos em contato com a casca do ovo, e dois foram posicionados a 10mm da casca para medir a temperatura ambiente. Como temperatura de referência foi assumida a registrada dentro de um ovo instrumentado com três sensores tipo circuito integrado. Com o fim de simular o ambiente interno da incubadora, o ovo instrumentado, o sensor com contato e o sensor sem contato foram posicionados em um duto de ar construído em madeira de média densidade (MDF). Neste local, foram simuladas duas condições do processo de incubação: no início quando é preciso fornecer calor por parte da máquina para aquecer o ovo e no final quando devido à máxima produção de calor do embrião, a máquina resfria o ovo; verificando-se nas duas situações a exatidão e a influência da velocidade do ar nas leituras de temperatura dos sensores.

Para a medição da massa foram usados quatro sensores de força extensométricos fixados a uma subestrutura de uma prateleira que faz parte de uma máquina de incubação de estágio único. Realizou-se a calibração estática na capacidade nominal e na faixa de utilização do sistema, com cargas de ovos colocados em duas bandejas de incubação com a finalidade de

obter as principais características estáticas e a equação de calibração. Verificou-se também a influência da viragem dos ovos nas leituras da massa.

O dispositivo de medição de temperatura com contato registrou maior exatidão nas leituras das duas condições simuladas. A menor exatidão deste dispositivo apresentou-se no resfriamento do ovo, chegando próximo de 96% do valor de referência; sendo esta diminuição consequência direta da alteração da temperatura ambiente. A velocidade do ar não influenciou nas leituras de nenhum dos sistemas de medição de temperatura. O sensor sem contato devido ao menor tempo de resposta, registrou leituras menos exatas. Em condições de regime permanente o sensor sem contato registra 3°C de erro respeito ao valor de referência.

Na calibração do sistema de pesagem na capacidade nominal e na faixa útil, registraram-se baixos valores de histerese, não linearidade e repetitividade. O erro da diferença entre a massa de referência e a massa calculada diminuiu na faixa de utilização. A influência da viragem dos ovos foi desprezível e não interferiu na precisão das leituras do valor da massa.

**Palavras Chave:** Incubação de ovos; Temperatura de ovos; Massa de ovos; Sensor de temperatura; Sensor de massa.

## **ABSTRACT**

The increasing demand of the poultry farming production in Brazil requires the development of new technologies that improve the results of the incubator machines. At the present time, there are some problems in the control of physical variables of the confined space of the incubators that don't allow to maximize the hatching eggs and that affect the chick performance in farm. Two of these variables; subject of study in this work, are the temperature of the embryo and the loss of mass of the egg, which are determinant through all the process because they affect the pipping measures and the number of successful births. Unfortunately till now it does not exist an adequate device that quantifies these factors, causing ignorance about it.

In this work, a temperature measurement system by sensors with contact was developed, comparing its performance with a sensor without contact (Infrared), which was used in preliminary measurements inside the incubators. It was also developed a weight measurement system to quantify the loss of mass of the egg.

In order to apply the measurement of temperature with contact, it was developed a device with five integrated circuit type sensors previously calibrated, three of them were in contact with the eggshell, and two of them were placed to 10mm from the eggshell to measure the air temperature around the egg. As temperature of reference it was assumed the registered one inside an instrumented egg was manufactured with three integrated circuit type sensors. In order to simulate the internal atmosphere of the incubator, the instrumented egg, the sensor with contact and the sensor without contact were placed in a tunnel of air built in wood of medium density. In this place, two conditions of the incubation process were simulated: at the beginning when it is necessary that the machine supplies heat to heat up the egg and finally when the machine cool the egg due to the maximum production of heat of the embryo; being verified in the two situations the accuracy and the influence of the air speed in the sensors temperature recordings.

For the measurement of the mass, four load cells were used; they were fit and set to a shelf substructure which belong to a part of a single-stage incubation machine. The static calibration of the system was made in the nominal capacity and the rank of use, with egg

placed in two incubation trays with the purpose of obtaining the main static characteristics and the calibration equation. The influence of the eggs turning in the recordings of the mass was also verified.

The device of temperature measurement with contact registered a highest accuracy in the recordings of the two simulated conditions. The smallest accuracy of this device appeared or was presented during the cooling of the egg, almost achieving a 96% from the reference value, being this decrease a direct consequence of the air temperature alteration. The air speed did not influence in the recordings of any of the temperature measurement systems. The sensor without contact registered less accuracy recordings, due to its smallest delay time. In conditions of equilibrium the sensor without contact registers 3°C of error in relation to the reference value.

In the calibration of the weight system in the nominal capacity and the interval of use, low values of hysteresis were registered, there were nonlinearity and repeatability. The error of the dissimilarity between the mass of reference and the calculated mass diminished in the interval of use. The influence of the eggs turning was trivial and it did not interfere in the precision of the readings of the value of the mass.

**Keywords:** Egg incubation; Egg temperature; Egg Mass; Temperature sensor; Mass sensor.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria avícola moderna, diante do mercado globalizado e das exigências crescentes nos aspectos de qualidade e segurança do produto, tem avançado nos últimos anos, especialmente pela competitividade e pelos níveis tecnológicos. Hoje o Brasil é um dos países com uma das maiores aviculturas comerciais do mundo, cujo direcionamento está baseado principalmente na incubação de ovos para avicultura de corte. Existe uma necessidade do aumento e do melhoramento desta produção devido à crescente demanda mundial de alimentos e às perdas por mortalidade dentro das máquinas incubadoras. Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias apropriadas para sincronizar este processo, aumentar o número de nascimentos e diminuir o consumo de energia. A incubação artificial é de fundamental importância no desenvolvimento da produção avícola, pois se constitui no início do processo produtivo e no ponto chave para evitar problemas do pintainho pós-eclosão.

Segundo a União Brasileira de Avicultura (UBA) a produção de pintos de corte no Brasil no ano 2007 aumentou em 12,5% com relação ao ano 2006, chegando a 5.151.986.116 unidades. A produção total de carne de frango para o ano 2007 também aumentou em 9,75% em relação ao ano anterior com 10.246.267 toneladas, destinadas ao consumo interno e exportações. Estas últimas, aumentaram em 21 % com respeito ao ano 2006 com um total de 3.286.775 toneladas, representando utilidades aproximadas de US\$ 5 milhões. Para o ano 2008 prevê-se um aumento na produção de pintos de corte próxima a 7,19%, um aumento de 7,55% em carne de frango e um aumento nas exportações de 16% (UBA 2008). Estes dados posicionam o Brasil como o terceiro produtor mundial de carne de frango, depois dos Estados Unidos e China e como maior exportador mundial (ABEF 2008).

A incubação artificial é realizada em máquinas incubadoras, as quais devem proporcionar aos ovos as condições ótimas de temperatura, umidade relativa, fluxo de ar, oxigênio e dióxido de carbono. Desvios desses fatores em relação aos respectivos valores ótimos para a espécie ou linhagem e a duração dos mesmos podem inviabilizar o desenvolvimento *in ovo*, resultando em um aumento da mortalidade e conseqüentemente na diminuição da eclosão.

Na atualidade os produtores utilizam máquinas incubadoras cujo objetivo é simular o processo de incubação feito pela galinha a fim de aumentarem a eclosão dos ovos, maximizarem a eclodibilidade, melhorar a qualidade do pintainho e sincronizar o tempo de eclosão.

Nestas máquinas estão presentes variáveis físicas do processo dentro das quais se destacam principalmente a temperatura, umidade relativa, concentração de oxigênio e dióxido de carbono e velocidade do ar que influenciam o desenvolvimento do embrião e são as principais variáveis que alteram a sua posterior eclosão.

Durante o processo de incubação no espaço confinado, geram-se variações dos fatores físicos e modificações das condições ambientais, criando um gradiente tridimensional de temperatura, do fluxo de ar e da produção de calor por parte do embrião, o que por sua vez é refletido nas taxas de bicagem interna e na eclosão dos ovos. Hoje as incubadoras comerciais principalmente as de estágio único, não são capazes de manter uma temperatura uniforme ao redor do ovo e a temperatura de operação da incubadora é assumida como a temperatura aplicada nos ovos (VAN BRECHT *et al.* 2005). O fluxo de ar dentro da máquina não é distribuído uniformemente no volume total da incubadora devido à obstrução dos ovos e das gavetas, afetando a produção de calor pelo embrião. Baixas taxas de nascimentos se produzem pelo controle incorreto da temperatura e da umidade do ovo, causando alterações que em um período de tempo suficientemente prolongado podem interferir no crescimento e no desenvolvimento normal do embrião.

A presente pesquisa baseia-se na hipótese de que o desenvolvimento de sistemas de medição de temperatura com contato e de medição de massa de ovos, são ferramentas adequadas para prover informações do comportamento do embrião dentro das máquinas incubadoras. Ainda não se têm dispositivos desenvolvidos que medem com precisão e exatidão a temperatura do embrião, a temperatura no microambiente circundante próximo ao ovo e a perda de massa do ovo; sendo eles parâmetros essenciais no processo de incubação.

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um sistema de medição de temperatura de ovos por meio de sensores com contato na casca e no microambiente, e um sistema de pesagem para a medição da perda de massa dos ovos.

Os objetivos específicos foram projetar, construir e validar um sistema de medição de massa de ovos e um sensor de temperatura com contato e compará-lo com um sensor de temperatura comercial sem contato.

Para atingir os objetivos foram desenvolvidos dois sistemas de instrumentação: 1) com sensores de temperatura com contato na casca e 2) sensores de força localizados na estrutura que suportam as bandejas portadoras dos ovos para quantificar a sua perda de umidade. Para a validação do dispositivo de medição de temperatura foi construído um duto de ar para simular a velocidade e temperatura do ar presentes no ambiente dentro das máquinas e verificar o seu funcionamento sob as condições normais de operação. Para a validação do dispositivo de medição de pesagem, foi instrumentada a estrutura da máquina que suporta as bandejas dos ovos com sensores de força (células de carga) e foi realizada a calibração estática do sistema.

Os ensaios práticos foram desenvolvidos no Laboratório de Instrumentação e Controle (LIC) da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e nas instalações da empresa CASP S.A. Indústria e Comércio.

A metodologia, os resultados e discussões desta pesquisa foram divididos em capítulos, os quais constituirão artigos científicos a serem submetidos com vistas a serem publicados em revistas especializadas. Os capítulos 1 e 2 desta dissertação referem-se respectivamente à introdução e revisão bibliográfica que são comuns para os demais itens.

O capítulo 3 refere-se ao artigo “DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DE PERDA DE MASSA EM OVOS EM MÁQUINAS DE INCUBAÇÃO”.

O capítulo 4 refere-se ao artigo “DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR SENSORES DE CONTATO EM OVOS PARA INCUBAÇÃO”.

O capítulo 5 refere-se ao artigo “MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DE OVOS PARA INCUBAÇÃO COM SENSORES COM CONTATO E SEM CONTATO”

O capítulo 6 corresponde à discussão e conclusão geral desta dissertação.

E finalmente os capítulos 7 e 8 correspondem às referências bibliográficas e ao apêndice respectivamente.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 INCUBAÇÃO ARTIFICIAL**

Visschedijk (1991) afirma que a incubação artificial é um processo cujo objetivo é fornecer artificialmente ao ovo um ambiente controlado para o desenvolvimento do embrião, procurando controlar a temperatura, a viragem do ovo, o fluxo de ar, a umidade relativa e a higiene dentro da câmara nos níveis adequados. Com a incubadora de ventilação forçada é possível aumentar a população de aves segundo as necessidades. Piaia (2005) destaca que a incubação artificial é realizada em incubadoras, as quais devem controlar a temperatura, umidade relativa, fluxo de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. Desvios desses fatores em relação aos valores ótimos, podem inviabilizar o desenvolvimento do embrião, resultando em um aumento da mortalidade e conseqüentemente na diminuição da eclosão e da eclodibilidade.

Van Brecht *et al.* (2003) assinala que as máquinas incubadoras são desenvolvidas principalmente com o objetivo de maximizar a eclosão, sincronizar o tempo da incubação e reduzir ao máximo o tempo da janela de nascimentos.

#### **2.1.1 Tipos de Incubadoras**

As máquinas incubadoras podem ser de estágio único ou de estágio múltiplo. Nas incubadoras de estágio único todos os ovos são introduzidos ao mesmo tempo (carga única), ficando totalmente vazias no dia da transferência para os nascedouros. Nestas incubadoras, segundo Callejo (2007), é possível manter as condições precisas de temperatura, umidade e ventilação requeridas pelo embrião em cada fase do desenvolvimento. Além disso, o período de vazio permite a limpeza, higiene, desinfecção da máquina e práticas de manutenção. A máquina pode ser fechada completamente para reter a umidade possibilitando que o calor seja trocado entre o ambiente e os ovos.

Nas máquinas de estágio múltiplo vão se introduzindo séries de ovos segundo a idade, ocupando-se o espaço deixado pelos ovos transferidos aos nascedouros (carga escalonada). Callejo (2007) salienta que estas máquinas permitem atingir as condições ótimas de temperatura e umidade pouco tempo após serem introduzidos os ovos na máquina,

permitindo economizar mais energia elétrica que as de estágio único. Sabe-se que diferentes estágios de incubação requerem condições ambientais específicas para se obter o melhor processo de incubação. Estas máquinas nunca são esvaziadas, havendo nelas embriões em diferentes fases de desenvolvimento e tendo uma temperatura constante sempre (37,5°C).

### **2.1.2 Funcionamento ótimo da máquina incubadora.**

Hill (2004) explica uma série de processos básicos para o ótimo desempenho da máquina:

- O fluxo de ar entre a massa de ovos deve ser consistente para que ocorra a transferência adequada de calor entre os embriões e o ambiente.
- O ar introduzido na máquina deve atender as necessidades de oxigênio dos embriões.
- É preciso que a capacidade de aquecimento e de resfriamento sejam adequados e uniformes.
- A máquina deve ter a habilidade de reduzir a umidade visando atingir as necessidades do embrião e ainda manter uniforme e adequado o resfriamento.
- Para transferir e remover calor de uma grande massa de ovos, a máquina comercial deve ter a capacidade de manter a temperatura do ar entre 36,1 e 38,3 °C no período de incubação.
- A umidade relativa deve ser ajustada para melhorar a eclosão e a qualidade dos pintainhos.

### **2.1.3 Variáveis relevantes que afetam a incubação de ovos.**

Dentro da máquina de incubação existe um ambiente condicionado por uma série de variáveis físicas, químicas e biológicas que influenciam no desenvolvimento do embrião e que são determinantes na vida e desempenho do pinto pós-eclosão. (VAN BRECHT *et al.* 2001). Perto do ovo existe um microambiente caracterizado por fatores físicos (Figura 1), que variam em tempo e espaço; dentro destes, os mais relevantes são: temperatura, umidade relativa, velocidade de ar, posição e frequência de giro e concentração de oxigênio e dióxido de

carbono. Desvios dos valores ótimos de um ou vários destes fatores, geram uma bioresposta que se traduz em variações da temperatura do embrião e na perda de água do ovo, alterando principalmente a troca de gases, a adequada formação de órgãos vitais e a janela de nascimento. Neste trabalho são estudadas com maior detalhamento a temperatura e a perda de umidade do ovo.

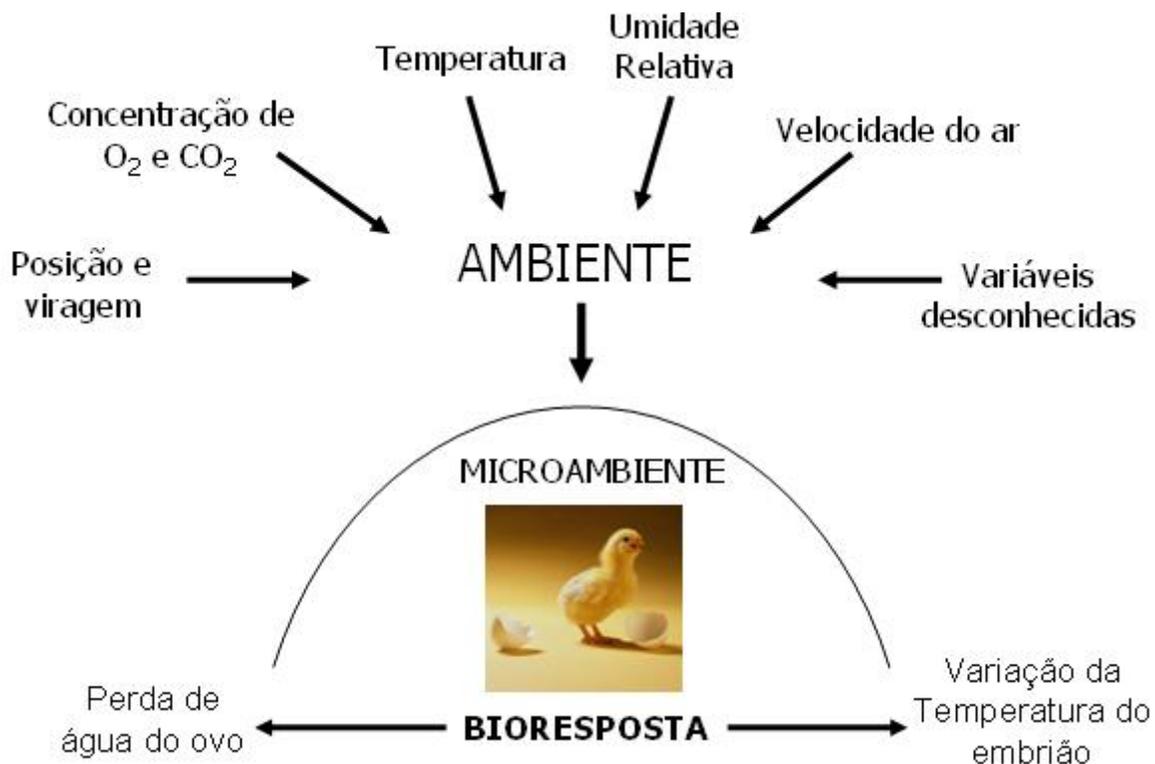


Figura 1. Principais fatores que intervêm no desenvolvimento do embrião. (Adaptado de Van Brecht *et al.* (2001))

### 2.1.3.1 Temperatura

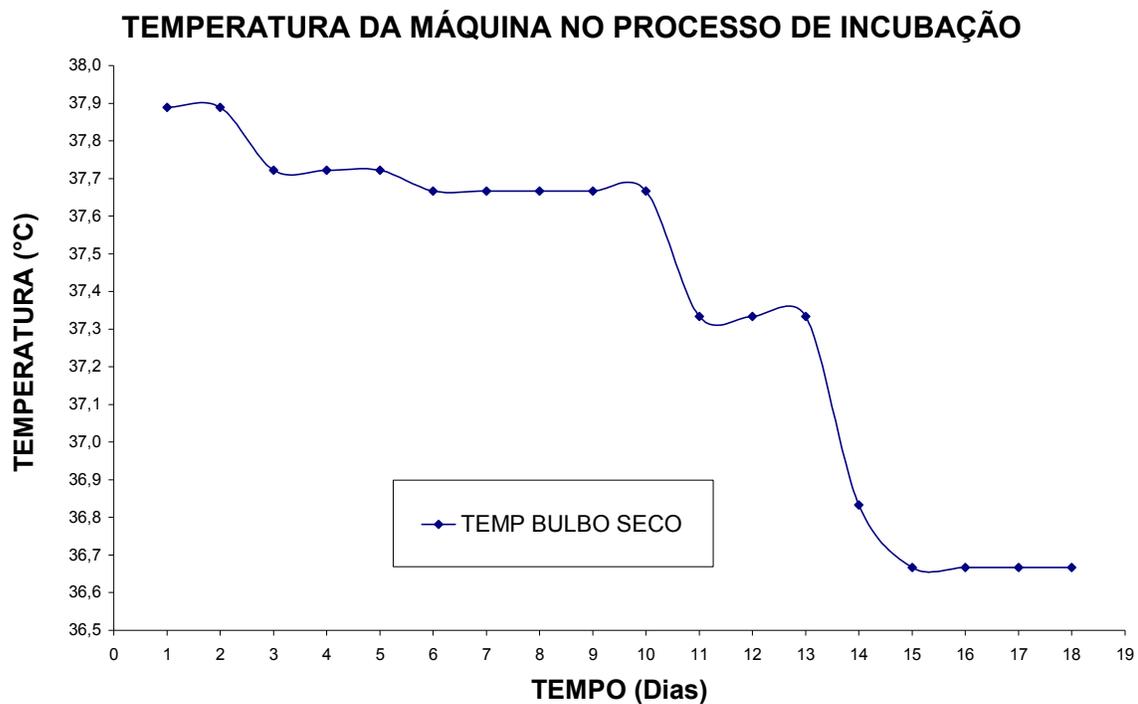
A temperatura é um fator muito importante e crítico no desenvolvimento do embrião, na eclosão do ovo e no posterior desenvolvimento do pintainho. A temperatura do ovo é função entre outros da linhagem, do período de incubação e do seu tamanho. Romanoff (1960), Whittow e Tazawa (1991), Wilson (1991) e Joseph *et al.* (2006), destacam que a temperatura ótima para um apropriado desenvolvimento do embrião está na faixa de 37.5°C a 37.8°C. Van Brecht *et al.* (2005) assinala que pequenos desvios desta faixa produzem variações na duração da incubação, pois a taxa metabólica do embrião está diretamente

relacionada com essa temperatura. Segundo Burton *et al.* (1989) e Visschedijk (1991), grandes desvios dessa faixa causam variações da temperatura no microambiente ao redor do ovo que afetam também a porcentagem de eclosão. Lourens *et al.* (2005) afirmam que temperaturas acima da indicada, aceleram o desenvolvimento embrionário, impedem a posição correta dos embriões e aumentam a mortalidade destes nos últimos dias da incubação. Enquanto que temperaturas menores às normais retardam o desenvolvimento e aumentam a mortalidade nos primeiros dias.

A temperatura experimentada pelo embrião dentro de uma máquina incubadora depende de três fatores principalmente, os quais são descritos por French (1997) como a temperatura do ar da incubadora, a transferência de calor entre o embrião e a incubadora e a produção de calor metabólico do próprio embrião.

#### **2.1.3.1.1 Temperatura do ar na incubadora**

Em incubadoras comerciais os ovos estão próximos uns dos outros, o que produz um gradiente de temperatura entre estes e a temperatura do ar. Por tal motivo a incubadora requer uma unidade de ar condicionado que permita subir ou baixar a temperatura e a umidade. Segundo Van Brecht *et al.* (2003) em condições normais a temperatura do ar dentro da incubadora de estágio único pode variar entre 36,7°C e 38,9°C. Na atualidade, a temperatura do ar dentro da máquina de estágio único é reduzida durante o decorrer dos dias do processo com o objetivo de manter ao ovo na temperatura ótima (Figura 2).



**Figura 2. Temperatura requerida do ar na máquina de estágio único para incubar ovos à temperatura ótima. Ensaio feito por diversas empresas de incubação.**

Lourens *et al.* (2005) assinala que atualmente muitas incubadoras comerciais não são capazes de manter uma temperatura uniforme ao redor do ovo, devido ao fluxo irregular de ar dentro do espaço confinado e, portanto, a temperatura da incubadora é assumida como a temperatura aplicada aos ovos, sendo assim significativamente diferentes. Medições diretas da temperatura dentro do ovo feitas por Lourens *et al.* (2005) salientam que estas excedem a temperatura da incubadora após a metade do processo de incubação. Pesquisas feitas por Tazawa e Nakagawa (1985) e validadas por French (1997) encontraram que a temperatura medida na casca pode ser assumida como a temperatura do embrião (Figura 3).

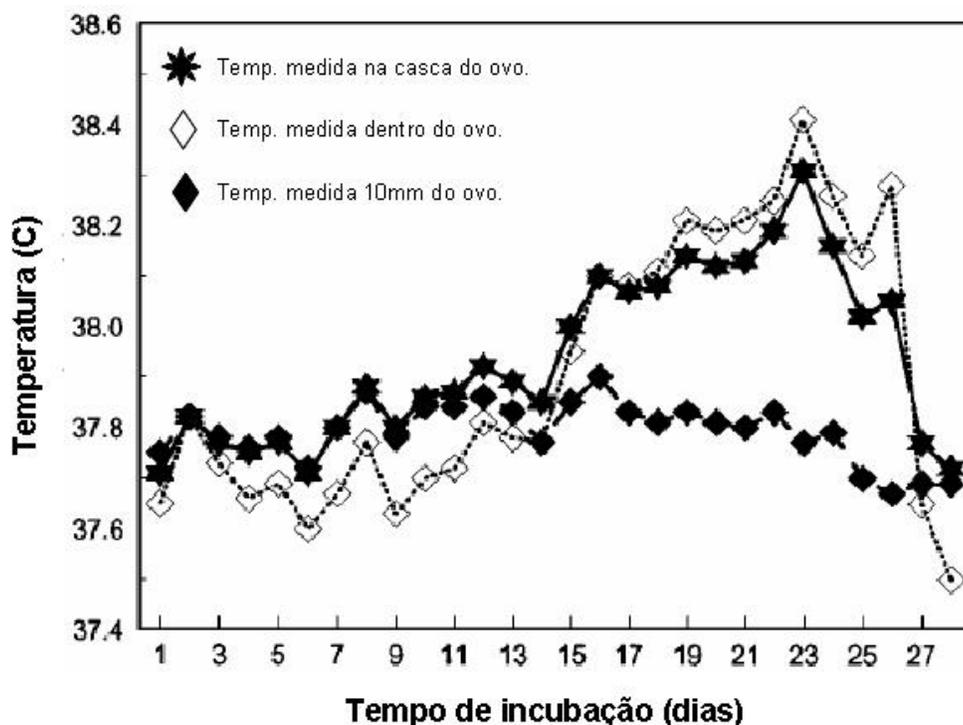


Figura 3. Temperatura de ovos de perus incubados a 37.5 °C (Adaptado de French (1997)).

Van Brecht *et al.* (2001) mencionam que a velocidade e a temperatura do ar não são uniformemente distribuídas no volume total da incubadora devido à obstrução dos ovos e das bandejas, influenciando na posterior eclosão e na eclodibilidade dos ovos.

#### 2.1.3.1.2 Transferência de calor entre o embrião e a incubadora

A transferência de calor entre o ovo e o microambiente físico externo pode ocorrer por um, ou mais, dos três mecanismos de transferência de calor. Kashkin (1961) destaca que essa transferência é dada principalmente pela perda de calor por convecção entre a casca e o ar circundante. Esta perda não uniforme está fortemente influenciada pela velocidade do ar ao redor do ovo. A velocidade do ar, por sua vez, depende da vazão de ar imposta pelo ventilador e do gradiente espaço-temporal tridimensional do fluxo criado pelos distintos obstáculos que impedem sua boa distribuição. Van Brecht *et al.* (2005) afirmam que em incubadoras comerciais a transferência de calor por condução é desprezível, pois a área de contato do ovo com a bandeja é mínima. Kashkin (1961) destaca que a transferência de calor por radiação nas

incubadoras é também desprezível já que a maioria dos ovos está rodeada por outros ovos com a mesma temperatura na superfície. Embora se tenha visto que os ovos localizados nas extremidades da máquina podem experimentar algum tipo de transferência de calor por radiação, sua magnitude não influencia a transferência total de calor. As condutividades térmicas dos componentes do ovo também podem facilitar ou impedir a transferência de calor. Romanoff e Romanoff (1949) destacam que no ovo o componente em maior porcentagem é o albume, o qual está composto em 98% por água. Spells (1960) e Sabliov *et al.* (2002) resumiram os valores de condutividade térmica para os principais componentes do ovo, os quais podem ser observados na Tabela 1. French (1997) assinala que durante o processo de incubação os valores da condutividade térmica podem ser aumentados em até 20%.

**Tabela 1. Condutividade térmica dos principais componentes do ovo Fonte: Spells (1960) e Sabliov *et al.* (2002).**

<b>Componente</b>	<b>Condutividade Térmica (W/m<sup>o</sup>K)</b>
Casca	0,456
Gema	0,337
Albume	0,58
Câmara de Ar	0,0263

#### **2.1.3.1.3. Produção de calor do embrião**

A produção de calor no ovo depende de reações metabólicas durante o crescimento do embrião. Essa produção de calor durante todo o processo de incubação se apresenta como calor latente e calor sensível. Segundo French (1997) e Romijn e Lokhorst (1960), o calor latente depende da quantidade de água evaporada que é determinada pela sua condutividade e a diferença de pressão parcial sobre a casca, sendo diretamente proporcional à quantidade de perda de água que é determinada pela medição da variação da massa do ovo. A produção de calor sensível é refletida no aumento da temperatura do embrião e depende da soma do calor dissipado pelos três mecanismos de transferência de calor, mas principalmente pela convecção. Devido a sua condição de organismo de temperatura variável que não permite que

o embrião controle a sua própria temperatura, é preciso durante o processo de incubação fornecer e retirar calor. Neves (2005) afirma que na fase inicial do desenvolvimento embrionário, chamada de fase hipotérmica (produção de pouco calor embrionário), que vai do início ao sexto dia, os embriões são altamente sensíveis às baixas temperaturas, onde ocorre a morfogênese e diferenciação tecidual. Na fase isotérmica (produção de calor é equivalente com o ambiente) que vai do sétimo ao décimo segundo dia, os embriões passam a produzir calor e ocorre o crescimento tecidual. Na última fase do desenvolvimento embrionário que vai do décimo terceiro ao vigésimo primeiro dia, acontece a fase hipertérmica (transferência de calor para o ambiente), onde ocorre um aumento da atividade lipolítica do fígado e os embriões são altamente sensíveis às temperaturas elevadas e mais resistentes às baixas. French (1997 apud ROMIJN e. LOKHORST, 1960) e Lourens *et al.* (2006) encontraram que a produção de calor sensível do ovo no início do processo é mínima (5 mW) e no final da incubação, antes de ser levado para o nascedouro (dia 18), é máxima (150 mW aproximado) (Figura 4).

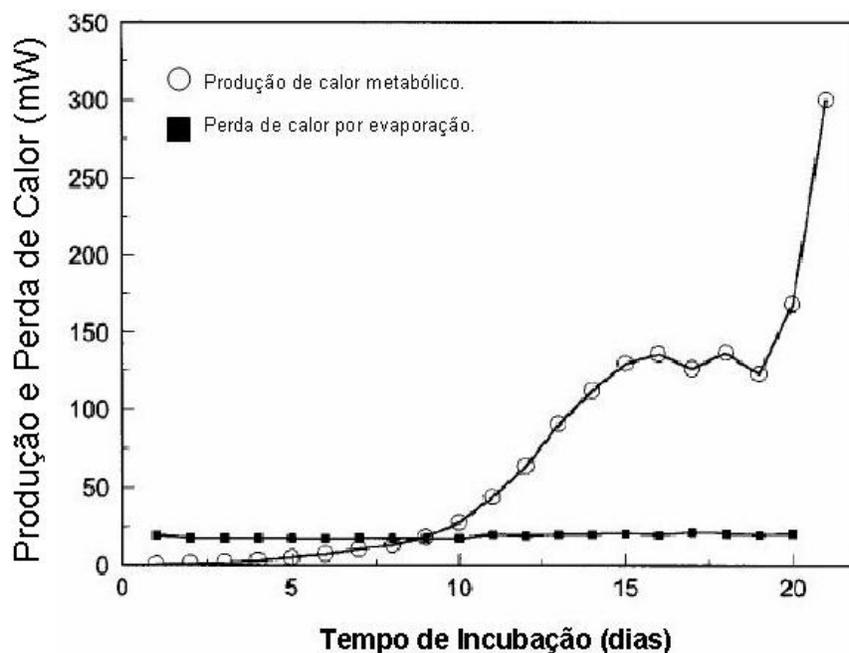


Figura 4. Produção de calor metabólico e perda de calor por evaporação em ovos de galinha durante a incubação. (Adaptado de French (1997).

### 2.1.3.2 Umidade Relativa e do Ovo

Os ovos perdem água durante o período de incubação. A taxa desta perda depende da umidade relativa que é mantida dentro da incubadora. A umidade na máquina e no ovo, além de ser um fator importante, não é considerado um fator tão crítico como a temperatura. Neves (2005) destaca que o ovo não é uniforme quanto à sua concentração de água, a gema possui em sua constituição de 42 a 65% de água e o albume de 85 a 95%. A água passa entre os compartimentos fluídicos sendo reutilizada; também muita água é perdida para a atmosfera em forma de vapor. Esta perda é realizada principalmente pelos poros da casca que segundo Neves (2005) são entre 7000 e 17000, sendo que a maior quantidade está no médio do ovo. A umidade relativa na incubação influencia diretamente na taxa de produção de calor metabólico do embrião, na massa do pinto (relação massa do ovo por massa do pinto), na flexibilidade da membrana da casca para saída do pinto (elasticidade), no desenvolvimento embrionário (indiretamente: cicatrização umbilical) e ajuda a inflar os pulmões após nascimento. Segundo Piaia (2005) se a umidade relativa do ar na incubadora for muito baixa, ocasionará uma perda de água do ovo excessiva, atrasando a eclosão e muitos embriões não eclodirão mesmo em pleno desenvolvimento; ao contrário, se for excessiva, os embriões tendem a eclodir precocemente, sendo freqüentemente molhados e grudentos e em casos extremos, podem eclodir sem atingir o desenvolvimento completo. A perda de água durante a incubação não é uma variável independente, mas um constituinte do embrião que é afetada pela temperatura, pela concentração protéica e pela porosidade da casca.

A perda de massa do ovo é diretamente proporcional à perda de água. Segundo Brinsea (2006) e French (1997), em condições normais o ovo perde 13% a 15% da sua massa entre o dia da postura e o dia da bicagem interna. Pode variar segundo o tipo de ovo, a ventilação, o manejo, a alimentação e a idade da matriz.

Brinsea (2006) também assinala que existem dois indicadores para estabelecer a umidade correta durante o processo de incubação. Eles consistem no incremento do volume da câmara de ar dentro do ovo (Figura 5) e na perda de massa (Figura 6). O primeiro indicador estabelece um aumento do tamanho da câmara de ar dentro do ovo com o decorrer do tempo; esse incremento é influenciado pela umidade relativa presente no ambiente da máquina. O segundo indicador aponta a perda de massa do ovo, que deve corresponder a uma taxa de

perda constante (13% a 15%) durante o processo de incubação. Incrementos ou diminuições desta porcentagem são conseqüências de umidade relativa inadequada.

A umidade dentro das máquinas incubadoras pode ser expressa em porcentagem e determinada pela medição da quantidade de vapor no ar, comparada com a máxima de vapor que pode ser absorvida a uma determinada temperatura. Além disso, pode-se determinar a umidade a partir da diferença entre a temperatura de bulbo úmido e a de bulbo seco.

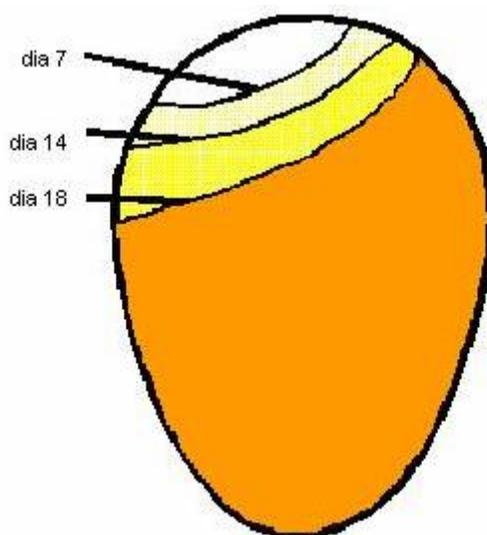


Figura 5 Tamanho da câmara de ar do ovo no processo de incubação.

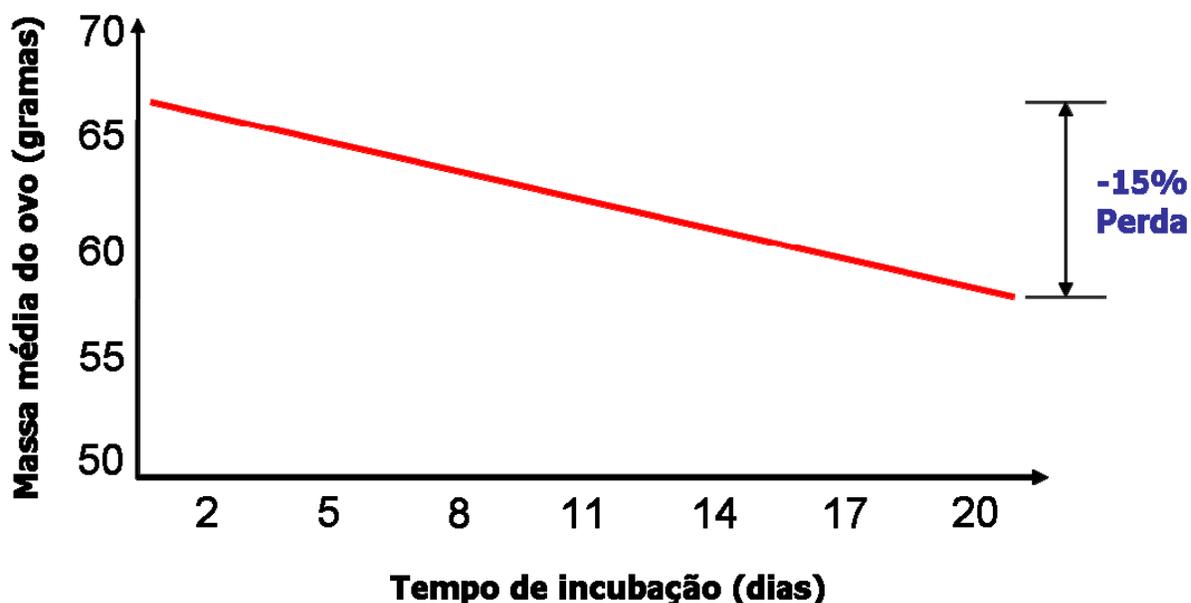


Figura 6. Perda de massa do ovo. (Adaptado de Brinsea (2006)).

Estudos anteriores feitos por Lundy (1969), demonstram que o intervalo ótimo de umidade relativa que se deve apresentar no ambiente confinado da máquina está entre 40% e 70%. Autores como Robertson, (1961) e Bruzual *et al.* (2000) mencionam que a máxima eclosão é obtida quando a umidade relativa da incubação se mantém constante nos 18 dias em 50 – 53%. Para os três dias seguintes, a umidade relativa deve ser maior, em torno dos 70%. Excessos de umidade relativa trazem como consequência pintos mais fracos; baixas umidades trazem consigo pintainhos aderidos à casca.

### **2.1.3.3 Velocidade do ar na incubadora**

A velocidade do ar dentro da câmara é um fator muito importante já que influencia na temperatura do embrião afetando a transferência de calor entre a casca e o ambiente circundante do ovo. Sotherland *et al.* (1987) afirmam que o objetivo da unidade de ventilação é reduzir o coeficiente de transferência de calor no início do processo de incubação com a finalidade de aquecer o ovo e aumentá-lo no final para resfriá-lo. Calil (2007) assinala que a ventilação tem mais uma função que é de remoção de vapor de água do interior da máquina. Van Brecht *et al.* (2005) encontraram que em condições reais dentro da máquina incubadora, as velocidades do ar ao redor do ovo oscilam em torno do 0,5 m/s e 3 m/s, dependendo da localização do ovo. Pesquisas feitas por Meijerhof e Van Beek (1993), demonstram que ao aumentarem a velocidade do ar circundante ao ovo, observa-se que o coeficiente de transferência de calor também aumenta, sendo esta transferência diretamente proporcional à condutividade térmica do ar. Van Brecht (2003) encontrou que altas e baixas temperaturas do ar ocorrem a altas e baixas velocidades do ar, obtendo um mesmo gradiente de temperatura próximo de 1,1°C para altas e baixas velocidades. Segundo French (1997), existe uma relação entre a condutância térmica e a velocidade do ar, que tem como consequência uma diferença entre a temperatura do ovo e do ar especialmente na segunda metade da incubação (Figura 3). Esta influência da velocidade do ar nas diferenças entre as temperaturas do ovo e do ar é alta. Isso significa que a diferença entre aquelas temperaturas pode causar diferença na temperatura do embrião e, por conseguinte no seu desenvolvimento. Estudos feitos por Meijerhof e Van Beek (1993) assinalam que velocidades do ar próximas dos 2 m/s apresentam uma diferença entre a temperatura do ovo e do ar na faixa de 0,5°C a 1°C, enquanto que velocidades do ar

próximas a 0,5m/s apresentam uma diferença na faixa de 1°C a 2,5°C. Neste último caso se afeta de forma crítica o desenvolvimento do embrião, obtendo-se pintainhos fracos com muita dificuldade para sair da casca. A *Guia de Incubación* (2007) afirma que a correta circulação do ar na incubadora é garantida por meio de ventiladores, injetores e extratores de ar, os quais estão conectados a dutos de entrada do ar. Van Brecht *et al.* (2003) destacam que para aumentar a eclosão, o fluxo de ar dentro das máquinas deve ser uniformizado e controlado partindo de um padrão do fluxo tridimensional e assinala que uma solução pode ser através da implementação de um algoritmo de controle adaptativo baseado principalmente na variação das revoluções do rotor. Desta forma concluiu que a ótima velocidade de rotação do rotor não deve ser constante no tempo devido às mudanças dinâmicas do processo de incubação.

#### **2.1.3.4 Concentração de oxigênio e dióxido de carbono**

Segundo Meijerhof (2007) a demanda de ar fresco para suprir a necessidade de oxigênio (O<sub>2</sub>) de um embrião é cerca de 0,07m<sup>3</sup>/h/kg. Calil (2007) destaca que essa demanda está condicionada pela capacidade do ovo de captar O<sub>2</sub>, que por sua vez é limitada pela casca e membranas, pelo fluxo de gases de dentro para fora do mesmo e também pela capacidade do embrião de liberar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A entrada de O<sub>2</sub> o ovo é dificultada por três condições: 1) o mais importante é a temperatura do ovo, 2) o alto diferencial de pressão entre o vapor de água e CO<sub>2</sub>, e 3) o peso molecular do CO<sub>2</sub> e água significativamente maiores que do O<sub>2</sub> (CALIL 2007). Com a temperatura alta e o embrião vivo haverá maior produção de CO<sub>2</sub> o que dificulta a entrada do O<sub>2</sub>. Piaia (2005) destaca que é impossível aumentar a porcentagem de oxigênio nas incubadoras acima dos 21% que é o valor presente na atmosfera no nível do mar. Geralmente, o índice de oxigênio do ar nos setores de incubação permanece aproximadamente em 21%, podendo haver alguma variação no nascedouro onde grandes quantidades de dióxido de carbono são produzidas pelos pintainhos recentemente nascidos. A distribuição de oxigênio dentro dos ovos é influenciada pelo suprimento de oxigênio por difusão e pelo consumo de oxigênio pelos embriões. Sob temperaturas mais elevadas de incubação o consumo de oxigênio aumenta mais rapidamente do que o suprimento, o que provoca aumento da mortalidade (PIAIA 2005). Van Golde *et al.* (1998) demonstraram que na metade da incubação a disponibilidade de O<sub>2</sub> foi um fator limitante para o desenvolvimento do

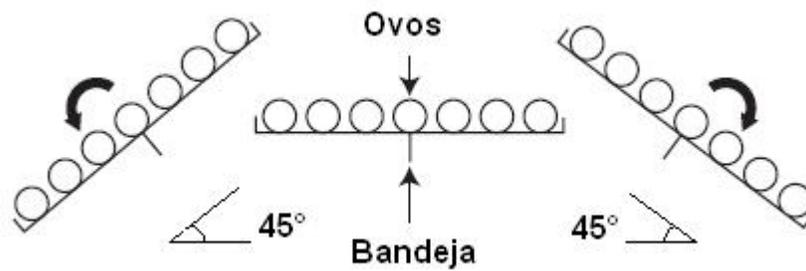
embrião, tendo uma relação diretamente proporcional. Lokhorst and Romijn (1965) encontraram que o nível de concentração de oxigênio na incubação influencia a produção de calor do ovo. Lourens *et al.* (2007) encontraram que níveis abaixo do 15%, podem ser letais e sua influência é maior nos últimos dias da incubação onde o ovo precisa de mais oxigênio.

Decuyper *et al.* (2000) assinalam que problemas de ventilação durante a incubação podem resultar em quadros de Síndrome Ascítica, pois o aporte adequado de oxigênio é de fundamental importância para a correta formação dos órgãos do embrião. Este fator se mostra mais importante no terço final de incubação.

Piaia (2005) assinala que o CO<sub>2</sub> é um composto natural resultado de processos metabólicos durante o desenvolvimento embrionário. Devido a isso, os níveis do dióxido de carbono aumentam no ar dentro da incubadora quando há uma troca de ar insuficiente no ambiente de incubação. A tolerância ao CO<sub>2</sub> varia segundo a idade do embrião, sendo os mais jovens, os mais sensíveis. Os níveis do dióxido de carbono acima de 0,5% reduzem a eclodibilidade, sendo 1% o valor máximo aceito. Valores de 5% em concentração de CO<sub>2</sub> causam a morte total dos embriões. Macari e Gonzáles (2003) quantificam o máximo nível aceitável de CO<sub>2</sub> dentro da incubadora em torno dos 0.3 % (3000 ppm).

### **2.1.3.5 Posição e giro dos ovos**

A posição dos ovos nas bandejas da incubadora deve ser com a base maior para cima com a finalidade de permitir uma melhor troca de gases e a entrada de ar necessário. Nesta base está localizada internamente a câmara de ar, indispensável na fase de bicagem interna onde o oxigênio presente estimula a respiração do pintainho. North e Bell (1990) encontraram que entre 1 e 4% dos ovos dentro das incubadoras são colocados erroneamente, gerando um déficit de oxigênio e um atraso no metabolismo. A viragem do ovo é feita principalmente para manter o embrião sempre no meio do ovo e evitar que pela sua densidade se cole na parte interna da casca e morra. Segundo Brinsea (2006), ao virar o ovo, o embrião é envolvido por nutrientes frescos permitindo o seu desenvolvimento. A viragem é fundamental e crítica na primeira semana, quando o embrião não tem ainda um sistema circulatório bem definido. Nas incubadoras comerciais a viragem é feita por um movimento rotatório das bandejas (Figura 7), acionado por um mecanismo que gira os ovos ao redor de um ponto de apoio no centro dela.



**Figura 7. Esquema da viragem dos ovos na incubadora**

Segundo French (1997), os ovos devem ser girados 90° cada hora para obter um desenvolvimento normal do embrião. Isso é possível pelo giro das bandejas 45° do plano horizontal (Figura 8), que segundo Elibol e Braket (2006) e Tona *et al.* (2005) é o valor que melhor se adapta às condições operacionais dentro da máquina. French (1997) também assinala que o espaçamento entre bandejas devido ao movimento delas, é diminuído quando aumenta o ângulo de giro, o que se traduz em uma diminuição da uniformidade do fluxo de ar e em aumento da temperatura do mesmo. Estudos feitos por Elibol e Braket (2006) asseguram que reduzir o ângulo de viragem e aumentar a frequência do giro pode aumentar a eclosão e reduzir a mortalidade do embrião dentro da incubadora.



**Figura 8. Viragem dos ovos em uma máquina incubadora.**

## 2.2 ASPECTOS BÁSICOS DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Para a execução do trabalho experimental, serão considerados e mencionados os conceitos básicos dos sistemas de medição e de seus erros a partir da instrumentação com sensores e a correspondente obtenção dos dados experimentais.

Um sistema de medição segundo Northop (1997) tem como principal objetivo atribuir um valor específico a uma variável física. Esta variável física torna-se a variável medida cujo fim é a sua quantificação. Um sistema de medição é composto principalmente em três partes: (1) etapa do sensor–transdutor, (2) etapa do condicionamento do sinal e (3) etapa de saída e indicação. (Figura 9). Na medição de uma variável física é preciso selecionar o sistema de medida mais adequado e a forma de interpretação do sinal de saída do sistema.

Figliola e Beasley (2000) definem o sensor como o elemento físico que usa algum fenômeno natural para perceber a variável a ser medida e Bannister e Whitehead (1991) definem um transdutor de forma geral como um dispositivo que recebe energia de uma parte de um sistema e emite essa energia em diferente forma a outra parte do sistema. Estes dispositivos de instrumentação eletrônica são aqueles que por meio do monitoramento das características físicas e estímulos elétricos, proporcionam um sinal analógico a ser usado em processamento e aquisição de dados.

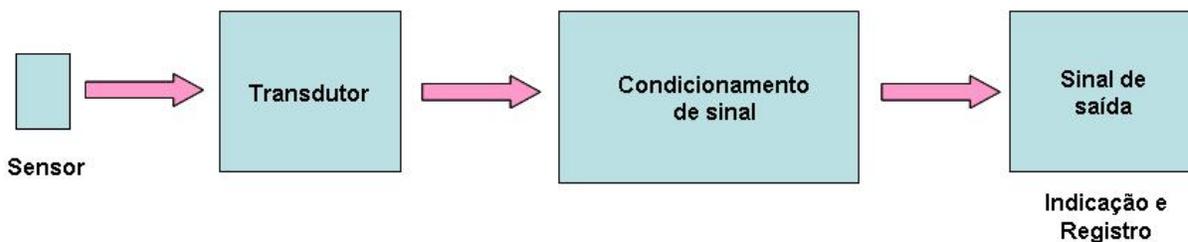


Figura 9. Componentes de um sistema geral de medição.

Hermann e Neubert (1967) assinalam que os principais parâmetros para um correto funcionamento em um sistema de medição são:

- Alta resolução espacial (pequeno tamanho de medida).
- Alta sensibilidade (alto fator de medida).
- Estabilidade da calibração
- Facilidade na avaliação de padrões complexos com um número mínimo de medições.

- Baixo efeito da temperatura e umidade do ambiente.
- Alta resolução no tempo.
- Facilidade na conexão.
- Facilidade na calibração.

Um sistema de medição capta uma quantidade de entrada e transforma esta em um valor de saída que pode ser observado ou registrado. Praticamente todos os sistemas de instrumentação requerem algum tipo de condicionamento de sinal analógico entre o transdutor de entrada e o processamento dos dados. Segundo Northrop (1997) o condicionamento do sinal pode consistir em sua amplificação, na remoção de porções através de técnicas de filtragem ou no fornecimento de uma ligação entre o transdutor e o sinal de saída.

### **2.2.1 Planejamento experimental de testes**

No desenvolvimento dos sistemas de medição de temperatura e pesagem foi necessário um planejamento para envolver inicialmente uma série de passos que segundo Bannister e Whitehead (1991) são baseados na (1), projeção de parâmetros como a quantificação de variáveis a medir, o que se pretende responder com a medição, o que tem que ser medido e as variáveis que afetarão os resultados. Posteriormente foi preciso realizar (2), o projeto do sistema de medida, que está relacionado com a seleção de uma técnica de medida adequada, os equipamentos e o procedimento de teste, tendo em conta como é possível obter os melhores resultados. O último passo (3), que consiste no planejamento da manipulação de dados para uma fácil interpretação, verificando se os dados obtidos são úteis para responder o objetivo inicial.

### **2.2.2. Calibração**

Devido ao fato do sensor não ser um dispositivo ideal e seu comportamento se afasta do ideal por dificuldades físicas, tecnológicas ou mesmo por imperfeições na construção, torna-se necessária a definição desse comportamento a través de uma calibração e saber qual é a resposta que vai se obter dele. A norma NBR 12550 que descreve as definições da Termometria (1998), estabelece o processo de calibração como “Conjunto de operações que

estabelece sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões”. Baseado nesta definição pode-se afirmar que a calibração permite o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações e a determinação das correções a serem aplicadas.

### **2.2.2.1 Calibração Estática**

Da Silva (2005) destaca que a calibração estática é um procedimento em que os valores das variáveis permanecem constantes sem mudar com o tempo de medição, estabelecendo uma relação de entrada com a saída. A partir disto se gera uma curva de calibração que permite fixar uma escala de leitura na saída e realizar uma correlação com a entrada por meio de uma equação. Na curva desta equação, o dado de entrada é mostrado no eixo das abscissas (x) e o valor de saída no eixo das ordenadas (y). Na calibração o valor de entrada deve ser assumido como uma variável independente, em quanto que o valor de saída é uma variável dependente da calibração. Além disso, a curva de calibração poder ser usada como parte do desenvolvimento de uma relação funcional ou uma correlação expressa por meio de uma equação conhecida.

### **2.2.2.2. Calibração Dinâmica**

Figliola e Beasley (2000) afirmam que quando as variáveis de interesse são dependentes do tempo e, portanto, a informação varia no transcorrer do tempo, é preciso utilizar uma calibração dinâmica. De forma geral, quando um parâmetro físico é quantificado no tempo e o sistema de medição não fornece uma resposta instantânea, o processo é considerado dinâmico. A calibração dinâmica deve permitir a obtenção do comportamento dinâmico da variável independente.

### 2.2.3. Fatores que intervêm no sistema de medição

Na calibração são aplicados valores de entrada desde um valor mínimo até um valor máximo. Estes limites definem a faixa de trabalho do sistema. Igualmente, a faixa dos valores de saída é especificada desde um valor medido mínimo até um valor medido máximo. Regazzi *et al.* (2005) consideram vários conceitos importantes que fazem parte dos sistemas e dos instrumentos de medição, dentro dos quais estão principalmente: linearidade, histerese, repetitividade, sensibilidade, precisão, exatidão e resolução.

#### 2.2.3.1. Linearidade

Muitos instrumentos nos sistemas de medida são projetados para alcançar uma relação linear entre a entrada aplicada e o valor de saída indicado. Figliola e Beasley (2000) afirmam que esta relação linear na curva de calibração estática pode assumir a forma dada pela Equação 1:

$$y_L(x) = a_0 + a_1x \quad [1]$$

Onde a curva estabelecida por  $y_L(x)$  provê o valor esperado de saída baseado na relação linear entre  $x$  e  $y$ ; porém, em sistemas reais o valor medido é só uma aproximação do valor verdadeiro. A diferença entre  $y_L(x)$  e o valor verdadeiro  $y(x)$  é a medição do comportamento não linear de um sistema que é considerado como o erro por não linearidade (Equação 2).

$$e_L(x) = y(x) - y_L(x) \quad [2]$$

Da Silva (2005) define o erro por não linearidade como o desvio máximo entre a curva de calibração dos valores crescentes com a reta de referência, expresso em porcentagem do sinal de saída nominal (Figura 10 (a)).

### **2.2.3.2. Histerese**

Um teste seqüencial é uma técnica efetiva para identificar e quantificar a histerese em um sistema de medição. Wheeler e Ganji (2004) se referem ao erro por histerese de forma simples como sendo a diferença dos valores registrados na escala crescente e decrescente. Para uma determinada entrada, o erro por histerese é calculado pela diferença entre o valor obtido na leitura crescente e o valor obtido na leitura decrescente, expressa em porcentagem do alcance. A histerese é um fenômeno que depende, principalmente, das limitações do sistema como o atrito ou amortecimento das partes constituintes. (Figura 10(b)).

### **2.2.3.3. Repetitividade**

Bannister e Whitehead (1991) assinalam que a repetitividade é considerada como a habilidade do sistema de medição para indicar o mesmo valor de saída para o mesmo valor de entrada em iguais condições ambientais. As diferenças das leituras permitem obter o erro por repetitividade (Figura 10 (c)). O Vocabulário internacional de termos básicos e genéricos em metrologia (VIM) (2004) destaca que a repetitividade deve incluir um mesmo procedimento de medição, mesmo operador, mesmo sistema medição, mesmas condições de operação e mesmo local e medições replicadas durante um curto período de tempo.

### **2.2.3.4. Sensibilidade**

Definida por Peterson (1985) como a variação da resposta de um instrumento de medição dividida pela correspondente variação do estímulo. Pode ser representada como o grau de inclinação da curva de calibração que vai produzir uma sensibilidade do sistema de medida (Figura 10 (d)).

### **2.2.3.5. Precisão**

Em engenharia prática, segundo Northrop (1997) a precisão de um sistema e de um instrumento é definida em termos do máximo desvio horizontal da linha de calibração. Comumente é expressa como uma porcentagem na escala de leitura registrada. A precisão vai

dependem dos tipos de dados que vão se medir, do sistema de leitura e das ações a realizar a partir das respostas dos sensores. Figliola e Beasley (2000) assinalam que a precisão se refere à habilidade do sistema para indicar um valor em particular sobre um valor repetido, independentemente do valor de entrada. O erro por precisão é uma medida da variação aleatória encontrada durante a realização de repetidas medições. (Figura 11). Esse erro está relacionado com o erro aleatório presente em uma medição e usualmente é expressa numericamente por meio da porcentagem de imprecisão.

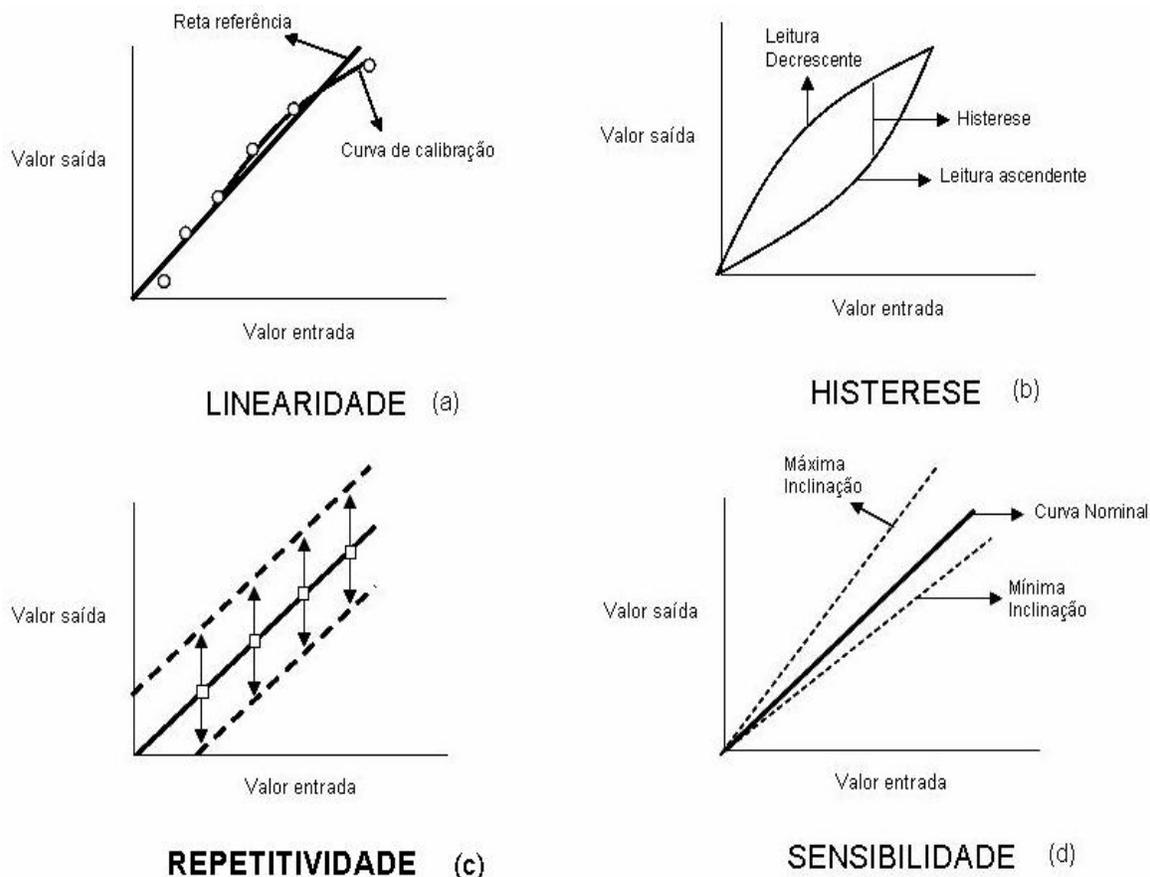


Figura 10. Fatores que afetam um sistema de medição. (Adaptado de Figliola e Beasley (2000)).

### 2.2.3.6. Exatidão

Na calibração e na medição de grandezas se o valor de entrada é conhecido exatamente, este é chamado de valor verdadeiro. Regazzi *et al.* (2005) e Northrop (1997) assinalam que a exatidão de um sistema de medida se refere à habilidade deste para em indicarem exatamente o valor verdadeiro. Normalmente é relacionada ao erro sistemático ou

médio e a distância entre a média das leituras e o valor verdadeiro. Destaca-se também que a exatidão pode ser determinada somente quando o valor verdadeiro é conhecido, ou seja, durante a calibração. (Figura 11). Para o desenvolvimento do presente trabalho foi adotada a definição de Figliola e Beasley (2000) que é assinalada na Equação 3:

$$Exatidão = \left( 1 - \frac{|\epsilon|}{valor\ verdadeiro} \right) \times 100 \quad [3]$$

Onde  $\epsilon = \text{valor verdadeiro} - \text{valor indicado}$

### 2.2.3.7. Resolução

O Vocabulário internacional de termos básicos e genéricos em metrologia (VIM) (2004) assinala que a resolução de um instrumento medidor é a menor diferença entre indicações do dispositivo que pode ser significativamente distinguida.

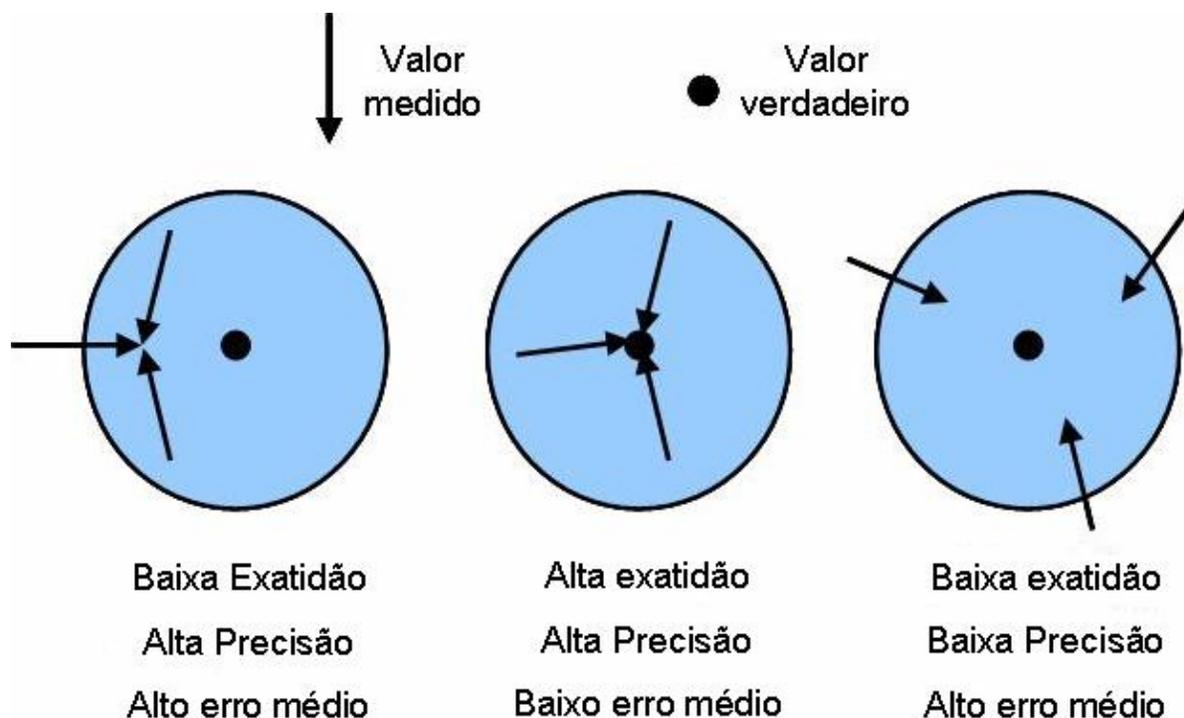


Figura 11. Precisão, exatidão e erro médio. Adaptado de Figliola e Beasley (2000)

### 2.2.3.8 Erro aleatório e sistemático

O erro aleatório é descrito por Wheeler e Ganji (2004), como uma consequência da falta de repetitividade na saída de um sistema de medição. É definido como uma medição individual que pode ser estimada como a diferença entre uma das leituras e a média de todas as leituras realizadas de uma grandeza. Já o erro sistemático é associado à exatidão do sistema e é definido pelos mesmos autores como a diferença entre a média das leituras e o valor verdadeiro. Na Figura 12, pode se observar a distinção entre estes dois tipos de erro.

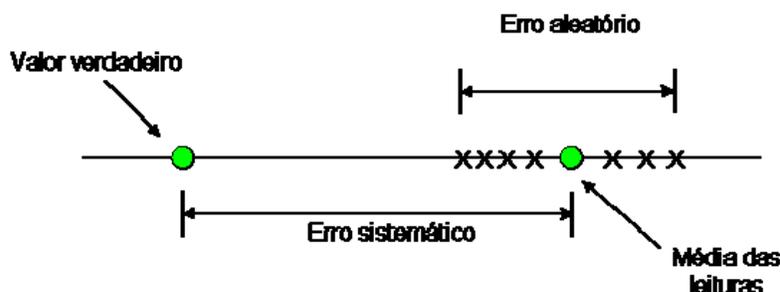


Figura 12. Distinção entre erro aleatório e sistemático. Adaptado de Wheeler e Ganji (2004).

### 2.2.4. Características dos sinais

A interpretação dos sinais de saída de um sistema de medição é uma das tarefas necessárias para a quantificação das variáveis físicas medidas. Figliola e Beasley (2000) assinalam que os sinais analógicos provêm uma representação do comportamento contínuo de uma variável no tempo. A sua magnitude é contínua e pode ter qualquer valor dentro da faixa de operação.

Paralelamente, destacam que o sinal digital existe em valores discretos no tempo e a sua magnitude é discreta e determinada por um processo de quantização que converte o valor analógico em um número digital, representando assim uma faixa de magnitudes de um sinal contínuo.

Dally *et al.* (1993) também afirmam que os sinais podem ser caracterizados como estáticos ou dinâmicos. Segundo estes autores, um sinal dinâmico varia com o tempo enquanto que o estático não. Os sinais dinâmicos podem ser classificados como sinais determinísticos que são aqueles que variam no tempo de forma previsível e cuja variação da magnitude do

sinal se repete em intervalos regulares de tempo e sinais não determinísticos que não seguem um padrão de repetição.

Os sinais periódicos podem ser classificados como simples ou complexos. Dally *et al.* (1993) descrevem um sinal periódico simples como aquele que tem uma frequência só e um sinal periódico complexo, como aquele que contém múltiplas frequências e é representado como uma sobreposição de múltiplos sinais simples.

### **2.2.5. Condicionamento de sinal**

Os sistemas de instrumentação e medição requerem algum tipo de condicionamento de sinal analógico entre a entrada e o processamento dos dados. Northop (1997) assinala que o condicionamento do sinal pode envolver uma amplificação da tensão entre a entrada e a saída. Pode também envolver técnicas de filtragem na frequência de domínio para melhorar a relação sinal-ruído na saída do amplificador. Pode-se também gerar condicionamento de sinais a partir dos processos não lineares.

Existem diversas formas possíveis de condicionamento de sinal. As mais comuns são: amplificação, atenuação, filtragem, diferenciação e integração.

#### **2.2.5.1. Amplificação.**

Muitos transdutores produzem sinais com baixas tensões. Devido a isso se dificulta transmitir por fios compridos ou aceder aos sistemas de processamento de dados que requerem tensões mais altas. Segundo Peterson (1985) a amplitude desses sinais pode ser incrementada usando um dispositivo que o amplifique. No amplificador, um sinal de entrada com baixa tensão torna-se um sinal de saída de alta tensão. O grau de amplificação é especificado pelo ganho.

#### **2.2.5.2. Atenuação.**

Em alguns casos uma medição pode resultar em uma tensão de saída com uma amplitude maior à faixa de entrada do seguinte componente. Devido a isso é necessário

reduzir a sua tensão até o valor desejado. Este método é chamado por Northrop (1997) como atenuação, o qual usa uma divisão de tensão que vai originar um sinal de saída com tensão diferente.

### **2.2.5.3. Filtragem**

Um filtro é um dispositivo no qual um sinal dependente do tempo é modificado intencionalmente dependendo da sua frequência ( $f_c$ ). Regazzi *et al* (2005) afirmam que os principais filtros são normalmente classificados em quatro tipos: 1) passa-baixo, que permite o passo de frequências abaixo de um valor determinado (Figura 13 a); 2) passa-alto, que permite só o passo de frequências acima de um valor determinado (Figura 13 b); 3) passa-banda que combina dispositivos que permite passar altas e baixas frequências (Figura 13 c) e 4) rejeita-banda que permite o passo de todas as frequências, exceto aquelas que estão entre uma faixa estreita determinada fazendo uma atenuação de uma ou varias gamas de frequências limitadas (Figura 13 d).

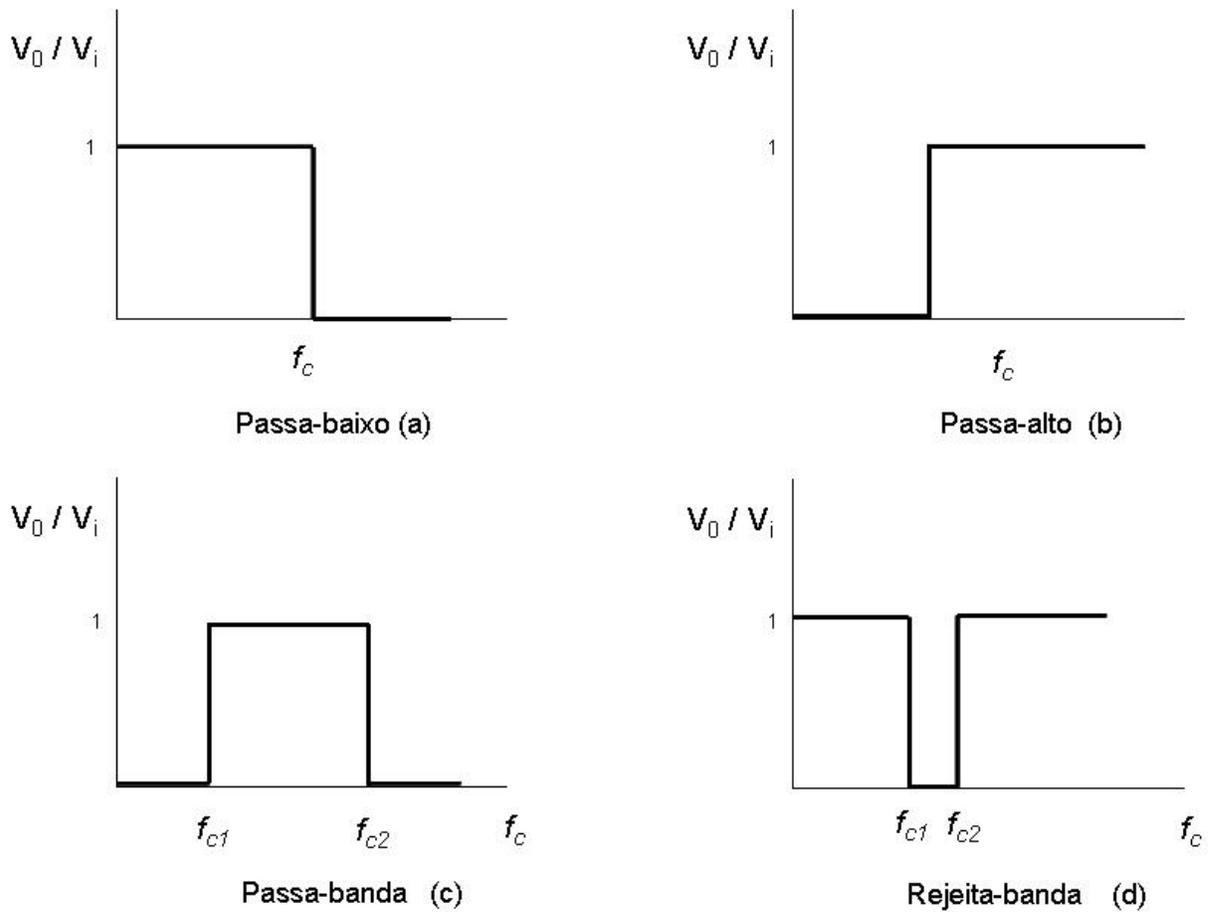


Figura 13. Tipos de filtros elétricos.

#### 2.2.5.4. Diferenciação e integração

Algumas técnicas de filtragem consistem, segundo Wheeler e Ganji (2004), em circuitos por integração ou diferenciação que são aplicados a sistemas de medida. A tensão de saída para um circuito por integração é a integral do tempo da tensão de entrada. Para um circuito diferencial a tensão de saída é a derivada do tempo da tensão de saída.

#### 2.2.6. Sistemas de aquisição de dados

Um sistema de aquisição de dados é a parte do sistema de medição que permite quantificar, armazenar e interpretar os dados. Da Silva (2005) afirma que O termo “*sistema de aquisição de dados*” refere-se ao conjunto de equipamentos (hardware) e de programas

(software) projetado para amostrar e digitalizar sinais analógicos. As amostras adquiridas podem depois ser processadas da forma mais conveniente. No processo de aquisição de dados podem-se envolver procedimentos de conversão analógica para digital (A/D) ou de digital para analógica (D/A). Wheeler e Ganji (2004) afirmam que na conversão de sinal analógico para digital, o sinal de entrada deve ser compatível com o conversor; ainda, é necessário filtrar o sinal a fim de remover componentes de frequência não desejados e realizar a aquisição do mesmo para convertê-lo do domínio analógico, contínuo no tempo, para ser finalmente quantificado pelo conversor A/D. Nas aquisições de sinais utilizando placas A/D é importante que sejam entendidos os processos de aquisição do sinal e os erros relacionados com os mesmos. Deve-se conhecer a capacidade da placa de conversão escolhida e estabelecer os parâmetros importantes como tamanho de amostra, taxa de amostragem, unidade, número de médias, além do número de canais a ser usados. As placas de aquisição de dados podem oferecer um tipo de ligação para entradas analógicas o qual recebe sinais deste tipo devidamente condicionados e filtrados com o objetivo de converter para digital. A digitalização inclui a amostragem e a conversão A/D, sendo os dados digitais transferidos posteriormente para o computador. A Figura 14 apresenta um diagrama com os elementos básicos que compõem um sistema de aquisição de dados.

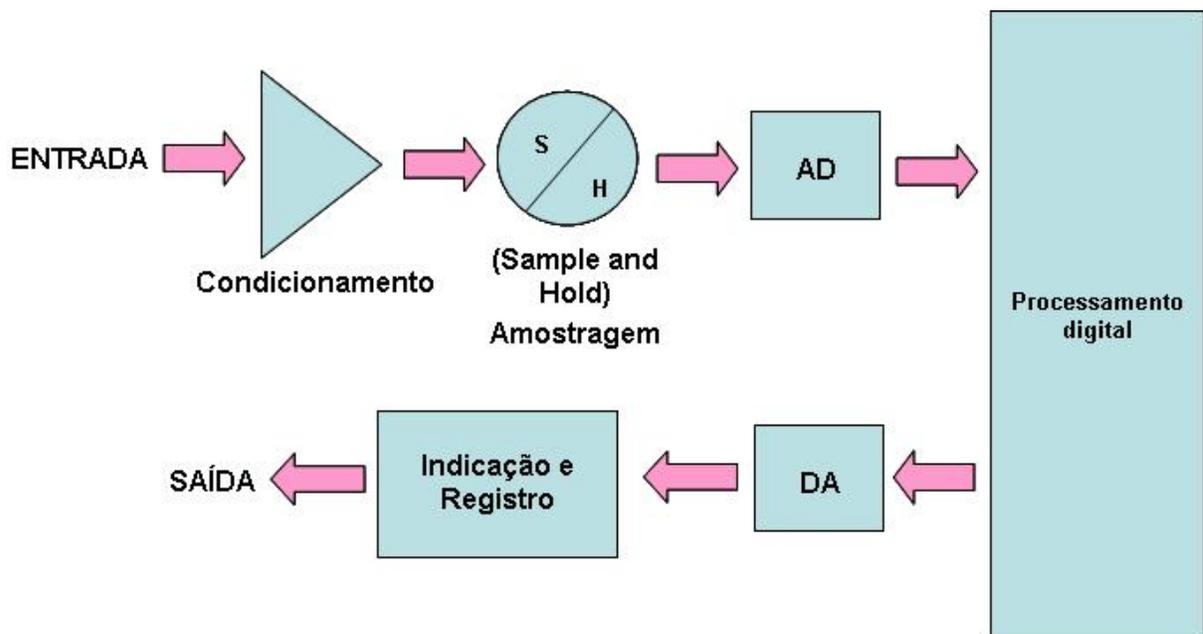


Figura 14. Elementos básicos de um sistema de aquisição de dados.

França (2007) destaca que na aquisição de dados deve ser considerada a frequência de Nyquist,  $F_N$ , que é definida como a metade da frequência de amostragem,  $F_N = F_A/2$ . Quando um sinal tem frequências superiores à frequência de Nyquist, sua amostragem gerará frequências não desejadas inferiores às frequências aparentes. Assim, a frequência de Nyquist é a frequência mais alta do sinal que pode ser adquirido sem indesejáveis distorções de frequência.

Em um sistema de aquisição de dados é possível que surja no sinal registrado um componente de baixa frequência que cria uma falsa identidade que é chamada “aliasing”. A quantidade de “aliasing” é afetada pela frequência de amostragem e pela largura da banda do sinal de entrada.

Regazzi *et al.* (2005) afirmam que se o sinal de entrada analógico no conversor muda significativamente durante a conversão, um circuito “sample & hold” (SH) (Figura 14) pode ser utilizado a fim de que faça a amostragem da tensão de entrada por um período curto de tempo, mantendo constante a tensão de saída durante a conversão. Pode ser utilizado também se as variações da tensão de entrada durante o tempo da conversão excedem a resolução do conversor.

## **2.3. SENSORES DE FORÇA**

A força é uma quantidade derivada de dimensões fundamentais como a massa, comprimento e tempo. Da Silva (2005) define a força como a ação mecânica que se exerce sobre um corpo ou parte dele, produzindo uma deformação. Os sensores de força são projetados para serem utilizados em processos de pesagem com um alto grau de exatidão e confiabilidade. Os dispositivos mais comuns para medição de forças são as células de carga que permitem fazer leituras precisas e exatas.

### **2.3.1. Células de carga**

Segundo Da Silva (2005) a célula de carga é constituída por um cilindro ou por um paralelepípedo que é apoiado por uma das bases, sendo a força que se pretende medir aplicada

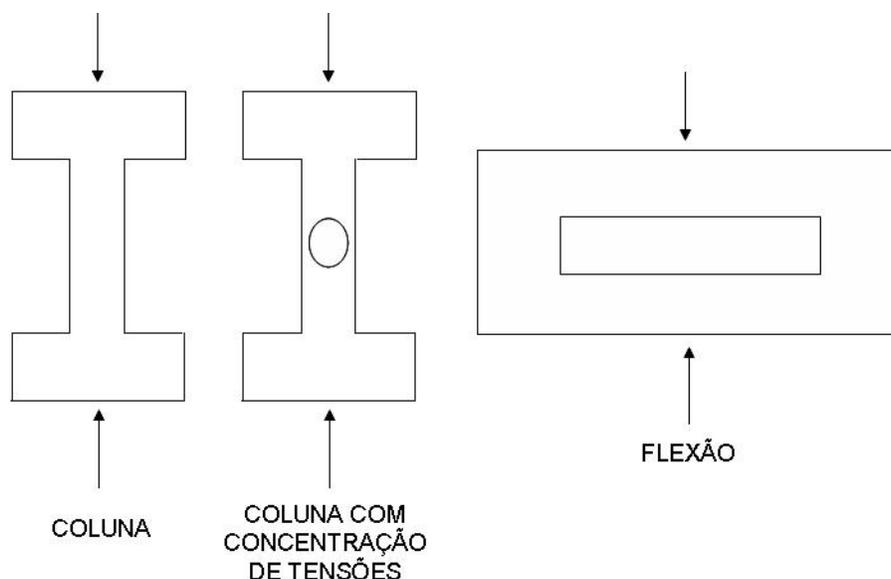
sobre a base oposta. Estes transdutores consistem de um membro elástico e um sensor de deflexão. As células de carga com extensômetros são atualmente os dispositivos de medição de força mais utilizados. Entretanto França (2007) menciona que há células de carga que operam com outros princípios que não sejam a medição da deformação com extensômetros: as células de carga de carbono e as células de carga de fluidos estão entre elas. Na célula de carbono, a compressão do carbono altera sua condutividade elétrica e é alterada a tensão medida no circuito elétrico. No caso da célula de fluido, a compressão exercida sobre o fluido é medida no manômetro e utilizada para calcular a força.

#### **2.3.1.1. Células de carga com extensômetros**

A célula de carga é descrita por Figliola e Beasley (2000) como um transdutor que gera um sinal de tensão como resultado da aplicação de uma força que produz uma deformação usualmente ao longo de uma direção particular. Estas células possuem uma propriedade que permite a medição de forças por meio de uma tensão de saída dentro de uma faixa de operação. Segundo França (2007) estes dispositivos estão projetados para prover uma medição de forças com uma exatidão aceitável em direções determinadas, evitando sensibilidade às componentes de forças em outras direções. A deformação é medida com o uso de extensômetros (strain gages), e a tensão é calculada com a lei de Hooke (Equação 4).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad [4]$$

Na lei de Hooke a constante de proporcionalidade entre a tensão e a deformação é o módulo de elasticidade, também conhecido como módulo de Young, estabelecendo-se uma relação linear entre a tensão e a deformação. Os tipos de células de carga podem ser: viga ou coluna (Figura 15). A célula de carga tipo viga pode ser caracterizada como tipo viga a flexão ou viga por cisalhamento.



**Figura 15. Células de carga com extensômetros.**

O princípio de funcionamento dos extensômetros de resistência elétrica está baseado na propriedade que tem os condutores de permitir o passo da corrente elétrica. Assumindo que o material do condutor seja o mesmo, se aplica uma força que faz variar seu comprimento, então se produz uma variação da seção e como resultado também varia sua resistência elétrica, o seja a muda da resistência dos extensômetros está em função das deformações produzidas no material, obtendo assim a deformação específica ( $\varepsilon$ ) (GIL *et al.*, 2006).

Segundo Andolfato *et al.* (2004), circuitos elétricos especiais são empregados para medidas de deformação com extensômetros montados em corpos de prova para medir as variações de resistência dentro de um circuito elétrico; o circuito usado geralmente é chamado de ponte de Wheatstone.

## **2.4. SENSORES DE TEMPERATURA**

Existem hoje dispositivos mecânicos para medição da temperatura que são baseados em uma saída elétrica. Wheeler e Ganji (2004) afirmam que os sensores de temperatura são transdutores que alteram uma ou mais de suas características físicas ao se igualar com o meio a ser determinada a temperatura. A maioria dos sensores utiliza a transmissão de calor por contato para assimilar a energia do meio. Estes dispositivos mudam seu comportamento sob a

ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Os sensores de operação indireta alteram suas propriedades, como a resistência, a capacitância ou a indutância. Existem vários tipos de sensores de temperatura, dentro dos quais se encontram principalmente os termômetros de expansão, os termopares, os termômetros de resistência (RTD), os termistores, os circuitos integrados (IC) e os termômetros de radiação dentro dos quais estão os infravermelhos. No desenvolvimento deste trabalho foram usados sensores tipo circuito integrado e infravermelhos.

#### **2.4.1 Sensores de circuitos integrados**

Northrop (1997) comenta que os sensores de temperatura eletrônicos são circuitos integrados especializados para medir a temperatura normalmente na faixa dos -55 a +150°C. Os sensores deste tipo fabricados pela *National semiconductor Corp.*, são dispositivos com três terminais para alimentação, aterramento e tensão de saída. Conforme Wheeler e Ganji (2004) estes sensores combinam vários componentes em um circuito só. Alguns deles provêm uma tensão ou uma corrente de saída de alto nível que se comportam como funções lineares da temperatura. A *National semiconductor Corp.*, assinala que esses sensores possuem uma excelente linearidade (0,1°C) e uma precisão que oscila entre  $\pm 0.5$  °C e  $\pm 0.05$  °C.

#### **2.4.2. Termômetros Infravermelhos**

São sensores que permitem medir a temperatura sem entrar em contato com a superfície, obedecem ao princípio de funcionamento dos termômetros por radiação, os quais são constituídos de um dispositivo de focagem, um detector, um amplificador, um transmissor e um indicador. Wheeler e Ganji (2004) assinalam que estes dispositivos medem a temperatura pelo sensoriamento da radiação eletromagnética térmica gerada pelo corpo. Qualquer corpo emite radiação eletromagnética continuamente e o comprimento de onda desta radiação é função da sua temperatura. Da silva (2005) destaca que o feixe de luz em um termômetro infravermelho é focado sobre um sensor de temperatura, através de uma lente e de um espelho parabólico. A temperatura de equilíbrio do sensor depende da energia absorvida e da energia

perdida por radiação, condução e convecção. Estes termômetros fornecem um valor médio da temperatura dos corpos que se encontram dentro do seu campo de visão, pelo que é importante conhecer a sua abertura. Igualmente possuem um tempo de resposta menor que outro tipo de termômetros, o que causa um registro da temperatura mais variável a qualquer alteração da temperatura de referência. Nestes termômetros é conhecido que a medição da temperatura é influenciada pela emissividade do objeto, sendo preciso realizar um ajuste para a sua compensação. As leituras são também afetadas pelos gases e vapores interpostos no caminho do feixe.

### **3. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DE PERDA DE MASSA DE OVOS EM MÁQUINAS DE INCUBAÇÃO.**

#### **3.1. RESUMO**

A perda de água no ovo dentro de uma incubadora, devido às alterações de múltiplos fatores físicos e climáticos, é uma variável que deve ser medida com alta precisão e exatidão. A finalidade é correlacioná-la à outras variáveis como a temperatura, para se estabelecer relações simples que consigam definir certas respostas do embrião a essas variações. Na atualidade, os sistemas de medição estão concebidos para contribuir no controle da máquina a partir de sensores e sistemas de instrumentação. Estes sensores são usados para medir o efeito da variação de parâmetros físicos relacionados com a operacionalidade da máquina e não para estabelecer estratégias de controle que consigam “entender” a reação do embrião a uma mudança em particular. Para isto é preciso desenvolver sistemas de instrumentação com a finalidade de expressar com números a resposta do embrião e exercer ações de controle para manter essa resposta em um valor adequado. Com tal propósito, em parceria com a CASP S.A. Indústria e Comercio, foi desenvolvido um sistema de medição de peso de ovos que expressa de forma exata e precisa as perdas de massa durante todo o processo de incubação, para que possam ser caracterizadas como biorespostas às modificações das variáveis presentes no ambiente da máquina. Foram obtidas duas calibrações tanto para a capacidade nominal, quanto para a faixa útil, encontrando-se que o sistema apresenta um valor baixo de erro na diferença entre as leituras indicadas e às de referência. Finalmente foi observado que as leituras de massa do sistema desenvolvido não são afetadas pela variação do ângulo de viragem da estrutura que suporta os sensores de força e que tanto a operacionalidade da máquina quanto a operacionalidade do sistema de medição, podem ser levados em conjunto sem comprometer a eficiência do outro. Concluiu-se que o sistema desenvolvido reage adequadamente às diferenças de peso e que sua exatidão e precisão estão dentro de níveis aceitáveis.

**Palavras Chave:** Perda de massa, Células de carga, Calibração estática, Incubação, Perda de água.

### 3.2. ABSTRACT

The water loss in the egg inside an incubator due to the variations of multiple climatic and physical factors is a variable that must be measured with a high precision and accuracy. The purpose is to correlate it to other variables such as the temperature, to establish simple relations that get to define some of the embryo reacts to these variations. At the present time, the measurement systems must be projected to contribute to the machine's control with sensors and systems of instrumentation. Nowadays, these sensors are used to measure the effect of the variation of physical parameters related to the performance of the machine and not for establishing control strategies that get it "understand" the embryo's reaction to a specific variation. For this it is necessary to develop systems of instrumentation with the aim of numerically expressing the response of the embryo and develop control actions in order to maintain this reaction in a suitable value.

For such intention, joined with the CASP S.A. Industry and Commerce Company, it was developed an eggs mass measurement system that shows in an accurate way the mass losses during all the process of incubation and in this way to characterize them as bioresponse to the modifications of the present variables in the environment inside the machine.

Two calibrations were done both for the nominal capacity and for the rank of use, being found that the system presents a low error value between the indicated recordings and those of reference. Finally it was observed that the mass recordings of the developed system are not affected by the variation of the eggs turning angle and that the performance of the machine and the measurement system, can be taken altogether without compromising the efficiency of the other one. It was concluded that the developed system reacts satisfactory regards to the weight differences, as much as its accuracy and precision are in excellent levels and that this system allows to clarify to questionings relating to the value of the measure of daily mass loss of the egg and its possible nonlinear behavior.

**Keywords:** Weight Loss, Load Cells, Static Calibration, Incubation, Water loss.

### **3.3. INTRODUÇÃO**

No processo de incubação, além da temperatura, existe mais outro parâmetro que apesar de não ser considerado tão crítico, influencia de forma importante no desenvolvimento do embrião. Este fator é a umidade relativa do ambiente confinado dentro da máquina, a qual altera a troca gasosa entre o ovo e o ambiente. É esta troca de gases que promove o metabolismo do embrião. A troca gasosa influencia também na taxa de produção de calor latente, que depende da quantidade de água evaporada, podendo ser medida pela perda de massa do ovo ao longo do processo (VAN BRECHT 2005). Esta perda de massa do ovo segundo Brinsea (2006) e French (1997) deve estar na faixa de 13% a 15% para os 21 dias de incubação. Para medir essa perda de massa dos ovos é apropriado o desenvolvimento de sistemas de instrumentação que possibilitem registrar a intervalos de tempo determinados, a massa instantânea dos ovos e verificar se essa perda está sendo adequada; e desta forma, conhecer a bioresposta do embrião a diferentes condições de umidade.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de instrumentação com sensores de força (células de carga), localizados na estrutura que suporta as bandejas dos ovos com a finalidade de obter a massa total da bandeja e registrar a perda de massa com o transcorrer do tempo. O sistema de medição foi desenvolvido em parceria com a empresa CASP S.A. Indústria e Comércio em uma máquina incubadora de estágio único.

### **3.4. MATERIAIS E MÉTODOS**

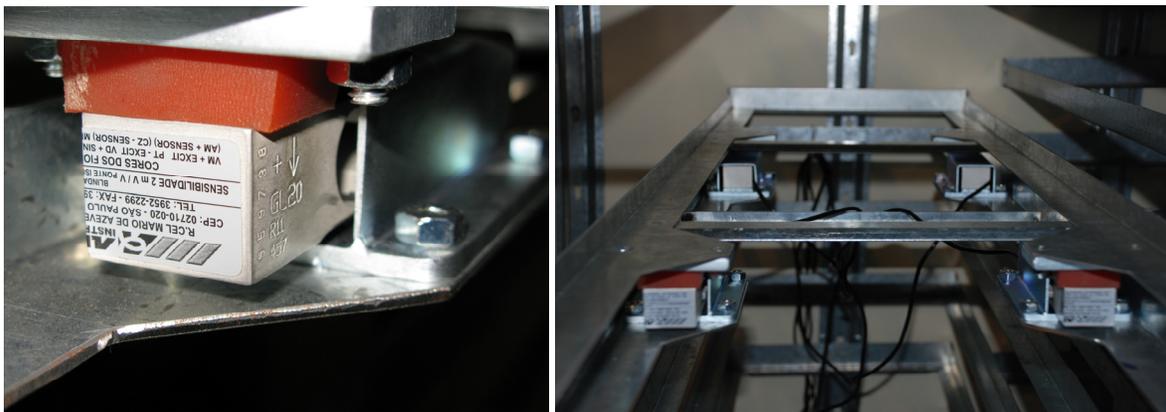
Foram utilizadas quatro células de carga extensométricas (Figura 16) tipo viga por cisalhamento modelo GL 20<sup>1</sup>, marca Alfa, cujas especificações podem ser observadas na Tabela 2, uma caixa de junção para conexão das células de carga, marca: Alfa, modelo 4352, um indicador transmissor de pesagem modelo 3104C (Figura 17), bandejas de incubação para 96 ovos, uma prateleira de incubação, e uma incubadora de ovos de estágio único fabricada pela CASP S.A.

---

<sup>1</sup> [www.alfainstrumentos.com.br](http://www.alfainstrumentos.com.br)

**Tabela 2 Principais especificações dos sensores de força (Adaptado de Alfainstrumentos)**

<b>Célula de Carga</b>	<b>GL 20</b>
Capacidade Nominal (kgf)	20
Sensibilidade (mV/V)	$2 \pm 0,1\%$
Máxima Sobrecarga sem alterações (%) Capacidade Nominal	150
Sobrecarga de Ruptura (%) Capacidade Nominal	300



**Figura 16. Localização das células de carga na prateleira de incubação**

As células de carga utilizadas no sistema foram escolhidas pelo tamanho e forma permitindo ser posicionadas nos espaços vazios entre uma bandeja e outra. As células de carga foram fixadas nos suportes das bandejas já existentes. Foi desenvolvida uma subestrutura para suportar as bandejas de ovos, a qual foi fixada diretamente às células de carga. Na fixação da subestrutura às células de carga utilizaram-se juntas flexíveis, denominadas “suflex”, com a finalidade de eliminar a aplicação de momentos nos sensores. As quatro células de carga foram interligadas através de uma caixa de junção com a finalidade de totalizar os valores medidos pelas mesmas. A caixa de junção foi então conectada ao indicador / transmissor de pesagem possibilitando a leitura dos valores medidos pelo *display* digital e a transmissão dos dados através de interface serial RS-232 ou RS-485.

As células de carga foram escolhidas pelo tamanho e forma permitindo ser posicionadas nos espaços vazios entre uma bandeja e outra. Depois da seleção, estas foram

fixadas na estrutura que suporta as bandejas com os ovos e a continuação foram conectadas à caixa de junção e ao indicador transmissor de pesagem.



Figura 17. Indicador transmissor de pesagem

### 3.4.1. Calibração do sistema de pesagem

Para a calibração do sistema de pesagem, optou-se pela utilização de ovos para incubação ao invés pesos padrão, permitindo assim uma situação idêntica à aplicação real. O processo de calibração estática se iniciou com a seleção de 192 ovos da linhagem COBB (Figura 18), cujas idades das matrizes são de 35 semanas. Fazendo uso de uma balança Toledo, modelo 3400/3, cuja capacidade nominal máxima é 5 kg com uma resolução de 0,001 kg, os ovos foram pesados e identificados.

A

Tabela 3 apresenta os dados estatísticos da amostra de ovos utilizada para calibração.

**Tabela 3 Amostra de ovos utilizados para calibração**

<b>Tipo de Ovo</b>	<b>COBB</b>
Nº ovos	192
Massa total [gf]	14111
Média [gf]	66,0625
Desvio Padrão [gf]	3,53498144
Coef. Variação %	5,35096528
máx [gf]	79
mín [gf]	57

As duas bandejas utilizadas para a acomodação dos ovos também foram pesadas, obtendo-se 706 e 721 gramas respectivamente. No processo de calibração descontou-se a massa das bandejas, considerando-se apenas a massa de ovos.



**Figura 18. Disposição dos ovos para calibração do sistema de medição de pesagem**

O sistema de pesagem desenvolvido foi instalado em uma das prateleiras de ovos de uma incubadora de estágio único, marca CASP, disponibilizada pela empresa para tal propósito. A Figura 18 ilustra a disposição nas bandejas dos ovos utilizados na calibração do sistema de pesagem.

Nesta máquina de incubação, o processo de viragem ocorre automaticamente em intervalos pré-definidos, alternando o giro em sentido horário com o anti-horário. Durante o processo de calibração procurou-se verificar o comportamento do sistema após operações de viragem dos ovos. Para tanto se realizaram medições com a capacidade máxima de ovos após a viragem no sentido horário e também anti-horário.

#### **3.4.1.2. Calibração do conjunto de pesagem na capacidade nominal**

Inicialmente foi instalado e colocado em operação todo o conjunto de pesagem, seguido pela realização do balanceamento do zero (zero ou tara), com a prateleira de ovos descarregada. Este procedimento pode ser feito diretamente no indicador de pesagem mediante o acionamento de uma tecla. Foram então aplicadas cargas crescentes, com a colocação de dois ovos nas bandejas a cada medição. Estabeleceu-se um padrão na colocação dos ovos de forma a distribuir uniformemente a massa por todas as bandejas. Para isto foram posicionadas cargas de dois em dois ovos de forma simétrica aos lados das bandejas. Depois da estabilização se procedeu a fazer a leitura no aparelho indicador (em kgf). Posteriormente foram aplicadas cargas decrescentes exatamente na ordem inversa do realizado no ensaio ascendente, fazendo em total um ensaio mais duas repetições. Desta forma foram obtidas 98 medições de peso para cada um dos procedimentos.

A partir das medições foi calculada a equação de calibração, a histerese, a repetitividade, a não linearidade e o erro total combinado, de acordo com as normas NBR 8197 – Instrumentos de medição de Força de uso geral – Aferição, NBR 10583 – Células de carga (Transdutores de Força) – Terminologia e NBR 10584 – Células de Carga (Transdutores de Força) – Determinação das características de Desempenho – Método de ensaio.

#### **3.4.1.3. Calibração do conjunto de pesagem na faixa de utilização**

Inicialmente foi realizado o balanceamento do zero, com a prateleira de ovos descarregada e posteriormente foi carregada com a carga equivalente à de ovos mais as gavetas. Foram aplicadas cargas decrescentes até chegar ao valor de carregamento inicial, anotando os valores correspondentes à carga subtraída e o valor indicado pelo sistema de

pesagem. Da mesma forma foram aplicadas cargas crescentes exatamente na ordem inversa ao realizado e foram feitas mais duas repetições.

Finalmente foi calculada a equação de calibração, a histerese, a repetitividade, a não linearidade e o erro total combinado, adaptando-se as normas NBR.

### 3.5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

#### 3.5.1. Calibração na capacidade nominal

Os resultados da calibração estática para a capacidade nominal são mostrados na Tabela 4. Nesta tabela são calculados os valores nominais das características estáticas do sistema, que apresenta uma baixa histerese, uma boa linearidade e alta precisão das leituras obtidas. Igualmente é calculada a equação de calibração a ser implementada na medição de massa com a finalidade de obter o mínimo erro na diferença das leituras. O erro entre a massa de referência e a massa calculada pela equação foi de 26g, apresentando o valor da exatidão em 99%.

**Tabela 4. Resultados da calibração estática para a capacidade nominal**

		Dados da Célula		Dados do Ensaio		Eq. Utilizado
 	Laboratório de Instrumentação e Controle LIC/FEAGRI/UNICAMP	Marca:	Alfa	Tipo:	Pesagem	Condiçona dor: Alfa
		Modelo:	GL-20	Data:	12/12/2007	Modelo: 3104C
		Sensibilidad e	2 [mV/V]	Temperatur a ambiente:	26°C	
	Reta de Referência p/ Tração (75 %)			<b>Equação de Calibração</b>		
	=	1,0035		Coefficiente Angular	1,001	
	Histerese =	0,1 [%]		=	4	
	Não-Linearidade =	0,4 [%]		Intercepção	16	
	Repetitividade =	0,2 [%]		=		
	Máx Erro Total Combinado =	0,7 [%]		Correlação	1,000	
		8		=		
				Massa [gf]	=	1,0014 x leitura [gf] +
				16		

Neste processo de calibração foi feita também a validação do dispositivo de pesagem para condições de viragem da bandeja, supondo as duas condições do ângulo máximo de

viragem e observando a variação na medição da massa devido à inclinação. Foram feitas três leituras para cada condição e observado o desvio padrão e o coeficiente de variação. Estes dados são encontrados na Tabela 5

**Tabela 5. Validação do sistema de pesagem para condições de viragem**

	Viragem	
	<i>inclinac horário</i>	<i>inclinac anti- horário</i>
Dados (gf)	14.084 14.081 14.080	14.109 14.108 14.104
Média (gf)	14.081,7	14.107,0
Desvio Padrão	1,70	2,16
Coef. Variação [%]	0,01	0,02

Dos resultados da calibração para capacidade nominal, observa-se que o dispositivo montado na estrutura do carro de incubação apresenta um bom comportamento estático, possuindo erro total combinado abaixo de 1%, que representa uma alta confiabilidade nos resultados. A equação de calibração descreve uma reta cuja correlação permite estabelecer uma relação linear. Na condição da viragem, foi observada a influência do ângulo com o plano horizontal na medição da massa, encontrando que os valores de desvio padrão e do coeficiente de variação próximos a zero, representam uma baixa influência na alteração da precisão das leituras.

### 3.5.2. Calibração na faixa de utilização

Para a calibração na faixa de utilização do sistema de pesagem, adotou-se uma faixa de utilização de 15% em relação à massa inicial de ovos. Este valor representa a maior perda aceitável de massa do ovo durante o processo de incubação real. Segundo os dados de carregamento máximo obtidos no ensaio de calibração, a faixa útil de operação inicia em aproximadamente 14 kg e termina próximo a 12 kg.

A Tabela 6 mostra as características estáticas do sistema de medição e a equação de calibração a ser usada nas medições dentro da faixa útil.

**Tabela 6 Calibração para faixa de utilização**

 		Dados da Célula		Dados do Ensaio		Eq. Utilizado
		Marca:	Alfa	Tipo:	Pesagem	Condicionador: Alfa
Modelo:	GL-20	Data:	12/12/2007	Modelo: 3104C		
Sensibilidade	2 [mV/V]	Temperatura Ambiente:	26°C	Laboratório de Instrumentação e Controle LIC/FEAGRI/UNICAMP		
<b>FAIXA ÚTIL: PERDA DE 15% DE MASSA</b>						
Reta de Referência p/ Tração (75 %) =		1,003		Equação de Calibração		
Histerese =		0,10 [%]		Coefficiente Angular =	0,9906	
Não-Linearidade =		0,46 [%]		Intercepção =	142	
Repetitividade =		0,23 [%]		Correlação =	1,000	
Máx Erro Total Combinado		0,77 [%]		Massa [gf]	= 0,9906 x leitura [gf] + 142	

Usando a equação de calibração para a faixa útil ou de trabalho, obteve-se o erro da leitura do valor da massa, calculado frente à leitura de massa de referência, obtendo no máximo 2 gramas de diferença, o que representa uma exatidão de 99,9%. Na Figura 19 apresenta-se o erro das diferenças das duas leituras.

A partir das Tabelas 4 e 6, encontra-se que o processo de calibração feito na faixa de utilização diminui o erro da leitura calculada e aumenta a sua exatidão e precisão frente à leitura da massa de referência. A partir da Tabela 5 e dos valores do coeficiente de variação e do desvio padrão, pode-se concluir que tanto o giro no sentido horário quanto o giro no sentido anti-horário do sistema de viragem afetam o registro da massa em baixa proporção, sendo esta alteração desprezível.

De forma geral o sistema de medição de massa em ovos consegue medir em tempo real e de forma exata a perda de massa progressiva dos ovos durante todos os dias da incubação. No caso do ensaio de calibração realizado, o gradiente de massa em todo o processo é de apenas 2 kg para os 18 dias da incubação, o que representa uma perda diária de 0,1 kg para o total de 192 ovos das bandejas ou de 578 mg por ovo. Destaca-se ainda que o processo de perda de massa dos ovos é bastante lento o que claramente dispensa a necessidade de testes para a avaliação das características dinâmicas do sistema de pesagem concebido.

É importante assinalar que na atualidade existem questionamentos sobre o valor da taxa de perda diária de massa no ovo, e seu possível comportamento não linear. Os sistemas de medição de massa, como o desenvolvido, são excelentes ferramentas para esclarecer estes tipos de indagações e para se conhecer melhor os fatores que influem neste comportamento.

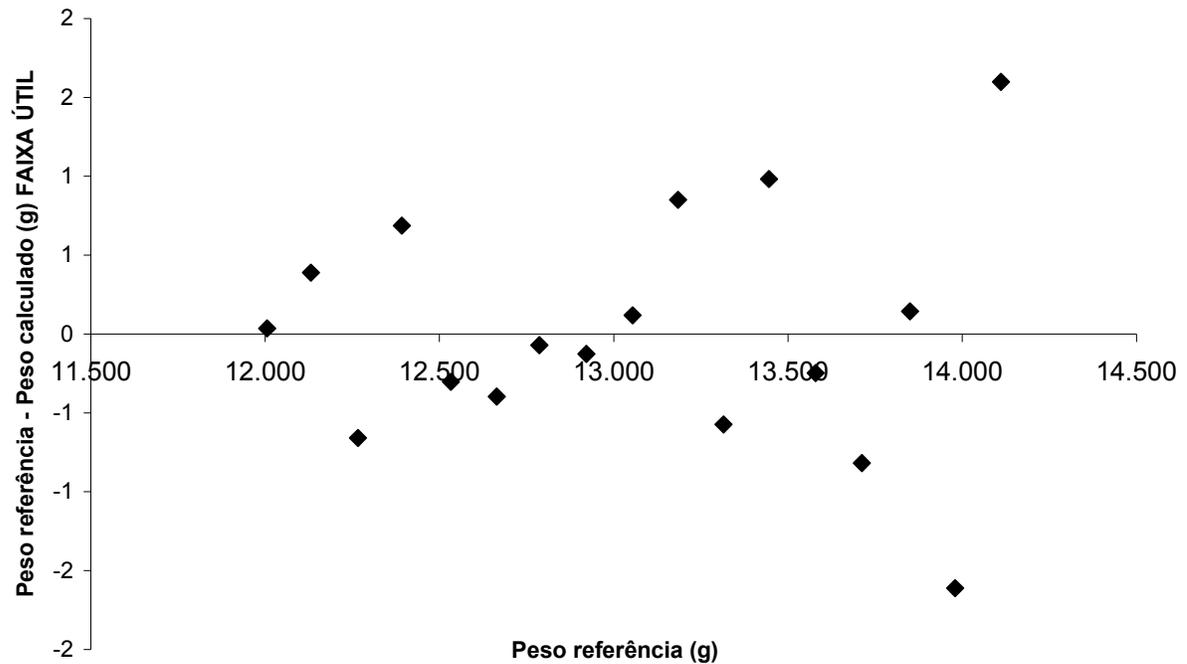


Figura 19 Erro entre massa referência e massa calculada na faixa de utilização

## **4. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR SENSORES COM CONTATO EM OVOS PARA INCUBAÇÃO.**

### **4.1. RESUMO**

Partindo da necessidade de medir a temperatura em ovos dentro de incubadoras com alto grau de exatidão, foi desenvolvido um sistema de medição com sensores com contato de baixo custo para medir a temperatura na casca do ovo. Pesquisas anteriores demonstram que a temperatura da casca pode ser assumida como a temperatura do embrião. Atualmente existem sensores de temperatura infravermelhos que medem a temperatura na casca do ovo, mas devido a seu alto custo no mercado não são facilmente acessíveis e seu uso é restringido a poucas amostras. Desta forma pretende-se aumentar o número de ovos amostrados, registrar leituras exatas da temperatura do ovo e caracterizar o comportamento desta dentro da incubadora, com a finalidade de disponibilizar esta informação para futuras ações de controle.

Foram utilizados cinco sensores de temperatura tipo circuito integrado em contato com a casca e no ambiente externo, colocados em um suporte de plástico. Foi realizada a calibração estática do sistema de medição utilizando-se um banho de líquido termostático para indicar a temperatura real de referência. Essa calibração foi realizada para um intervalo de temperatura de 35°C até 40°C, que corresponde à faixa de temperatura que se apresenta em condições normais dentro da máquina incubadora. Com base nessa calibração foram obtidas as principais características estáticas do sistema: histerese, não linearidade, repetitividade e erro combinado. O máximo erro total combinado foi de 0,82% e a partir da curva de calibração e a reta de ajuste foi possível calcular a equação que descreve um comportamento linear para cada sensor e obter o erro máximo nas leituras de 0,05°C, comparadas com a temperatura de referência.

O dispositivo de medição foi validado em um túnel de ar construído para simular duas das variáveis físicas presentes na incubadora durante o processo de incubação, que são determinantes na temperatura do embrião: velocidade e temperatura do ar na câmara de incubação. Dentro deste túnel foi colocado um ovo instrumentado em seu interior com três sensores de temperatura tipo circuito integrado e uma resistência elétrica para produzir um fluxo de calor do interior para o exterior do ovo, simulando o calor gerado pelo embrião

durante o processo. O dispositivo de medição foi localizado no exterior da casca do ovo e foram registradas diferentes leituras a diferentes condições de velocidades do ar e observou-se que a diferença das leituras entre o valor registrado pelos sensores do exterior e o valor do interior da casca do ovo pode ser desprezível.

**Palavras Chave:** Instrumentação, Incubação, Temperatura, Calibração estática, Exatidão.

#### 4.2. ABSTRACT

Starting from the need to measure the temperature in eggs inside incubators with a high degree of accuracy, it was developed a system of measurement with sensors with contact not expensive which aim is to measure the temperature on the eggshell. Previous researches demonstrate that the temperature of the eggshell can be assumed as the temperature of the embryo. At the moment does exist infrared temperature sensors that measure the temperature in the eggshell, but due to their high cost in the market they are not easily accessible and their use is restricted to few samples. In this way it is intended to increase the number of samples, to register exact recordings of the temperature of the egg and to characterize the behavior of this inside the incubator in order to offer this information for future control actions. For this it was used (in a plastic backup that permits its graduation to the size of the egg), three integrated circuit type temperature sensors in contact with the eggshell and two integrated circuit type temperature sensors to measure the external environment around the egg. The static calibration of the system of measurement was done through a bath of thermostatic liquid in order to indicate the real reference temperature. That calibration was done for an interval of temperature from 35°C to 40°C that corresponds to the rank of temperature that is presented in normal conditions inside the incubator machine. Based on that calibration there were obtained the main static characteristics of the system: hysteresis, not linearity, repeatability and combined error. The maximum total combined error was of 0.82% and from the curve of calibration and the straight line of adjustment it was possible to calculate the equation that describes a linear behavior for each sensor and in the recordings obtain a maximum error of 0,05°C, compared with the temperature of reference.

The measurement device was validated in an air tunnel built to simulate two of the physical variables present in the incubator during the incubation process, these two variables

are determining in the embryo temperature: air speed and air temperature into the incubation camera. Inside this tunnel it was placed an egg previously instrumented in its interior with three integrated circuit type temperature sensors and an electrical resistance to produce a heat flow from the interior towards the outside of the egg, being simulated the heat generated by the embryo at the end of the incubation process. The measurement device was located in the outside of the eggshell and the temperature was registered in different air speed conditions, being observed that the difference of the readings among the value registered by the sensors of the outside and the value of the interior of the eggshell can be negligible.

**Keywords:** Instrumentation, Incubation, Temperature, Static Calibration, Accuracy.

### 4.3. INTRODUÇÃO

Na atualidade os produtores utilizam máquinas incubadoras cujo objetivo é simular o processo realizado pela ave reprodutora com o fim de aumentar e sincronizar a eclosão dos ovos e melhorar a qualidade do pintainho. (VAN BRECHT *et al.* 2003). Na incubação está presente a temperatura como uma das variáveis físicas que influencia o desenvolvimento do embrião e o nascimento do pintainho. A temperatura do embrião desenvolve um papel determinante no processo. Trabalhos publicados por Romijn e Lokhorst (1960), Lourens *et al.* (2005), Brinsea (2006), Joseph *et al.* (2006), Lourens *et al.* (2007) e Hulet *et al.* (2007) mostram que a temperatura do embrião influencia no seu desenvolvimento, na quantidade de pintainhos nascidos e no seu desempenho pós-eclosão, sendo desta forma vital para todo o processo de produção de frango de corte. Qualquer alteração desta durante a incubação pode causar até sua morte. Romanoff (1960) Wilson (1991) e Joseph *et al.* (2006) indicam que a temperatura de incubação do ovo ótima deve estar entre 37,5°C e 37,8°C. Segundo Whittow e Tazawa (1991) pequenos desvios deste intervalo modificam o tempo de incubação devido à variação do metabolismo do embrião, em quanto que grandes desvios afetam a porcentagem de eclosão. Segundo Van Brecht *et al.* (2003) em condições normais a temperatura do ar dentro da incubadora de estágio único pode variar entre 36,7°C e 38,9°C, com a finalidade de manter a temperatura do ovo constante. Pesquisas feitas por Romijn e Lokhorst (1960) e ratificadas por Lourens *et al.* (2006) demonstram que a produção de calor sensível metabólico do embrião varia segundo a idade, desde 5mW no início até 150 mW ao final do processo.

A velocidade do ar também influencia o comportamento da temperatura, já que tem sido demonstrado por Sotherland *et al.* (1987) e Meijerhof e Van Beek (1993) que a condutividade térmica do ar altera a transferência de calor entre o ovo e seu ambiente, modificando assim a diferença existente entre a temperatura do embrião e do ar da incubadora. O valor máximo desta diferença encontrado por Meijerhof e Van Beek (1993) está em torno dos 2,5°C. Dentro das incubadoras a velocidade e a temperatura do ar não são uniformemente distribuídas pela obstrução dos ovos e as bandejas, o qual produz modificações das condições ambientais dentro do espaço confinado. Van Brecht *et al.* (2005) encontraram que em condições reais dentro da máquina incubadora, a velocidade do ar ao redor do ovo oscila entre 0,5 m/s e 3 m/s, dependendo da sua localização. Desta forma é afetada a transferência de calor e a temperatura dos ovos dentro da incubadora não é a mesma. Na atualidade a temperatura de operação da máquina é assumida como a temperatura do embrião.

Devido à impossibilidade de medir diretamente a temperatura dentro do ovo sem ensaios destrutivos, têm se realizados estudos que verificam que a temperatura da casca pode ser assumida como a temperatura do embrião (TAZAWA e NAKAGAWA (1985) e FRENCH (1997)). Lourens *et al.* (2005, 2006a, 2006b, 2007) e Van Brecht *et al.* (2005) mediram a temperatura na casca com termistores e termopares de contato fixados com fitas ou películas adesivas. Tanto os sensores com contato como os infravermelhos usados até agora registram a temperatura de poucos ovos dentro da máquina, causando o desconhecimento da temperatura deste em várias partes da incubadora.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de medição de temperatura com sensores de contato na casca, de baixo custo e alta precisão que permita registrar em tempo real e de forma exata a temperatura do ovo e disponibilizar esta informação para sua utilização em futuras estratégias de controle com a finalidade de melhorar os parâmetros operacionais das máquinas incubadoras.

#### **4.4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação e Controle (LIC) na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas SP. Brasil.

#### 4.4.1. Dispositivo de medição de temperatura

Foram utilizados três sensores de temperatura tipo circuito integrado (LM-50<sup>2</sup>) devido principalmente ao seu baixo custo, disponibilidade no mercado e ao seu tamanho. A área de contato de cada sensor com o ovo foi 3,8 mm<sup>2</sup>. Este tipo de sensor é um circuito integrado de alta precisão, cuja tensão de saída é linearmente proporcional a um valor de temperatura em graus Celsius (Tabela 7).

**Tabela 7. Principais especificações do sensor LM50**

<i>Faixa de Temperatura</i>	<i>-40°C a +125°C</i>
Sensibilidade	10 mV/°C
Precisão a 25°C	± 2°C
Tensão de Alimentação	4,5 V – 10 V
Não Linearidade máx.	0,8°C

A medição foi efetuada na zona meia do ovo, já que é nesta região onde está presente a maior quantidade de poros e microporos, os quais facilitam a transferência de calor e permitem registrar a temperatura com maior exatidão. Igualmente foi desenvolvido um suporte em plástico leve de baixa condutividade térmica, fácil manipulação para sujeitar um conjunto de três braços plásticos que a sua vez posicionam os três sensores ao exterior da casca sem causar dano e com a possibilidade de ajustá-los ao tamanho do ovo. No suporte foi localizado um parafuso de graduação para ajustar o dispositivo à altura do ovo (Figura 20). Este dispositivo foi projetado com a finalidade de realizar leituras nas máquinas incubadoras onde a altura entre bandejas é aproximadamente 100 mm quando se encontram paralelas ao plano horizontal e onde o espaço lateral entre ovos é menor a 5 mm. Adicionalmente, foi colocado um sensor a 10 mm da casca para registrar a temperatura média no ambiente ao redor do ovo com a finalidade de observar a influência deste nas medições.

<sup>2</sup> LM50 SOT-23 Single- Supply Centigrade Temperatura Sensor. <http://www.national.com/mpf/LM/LM50.html>

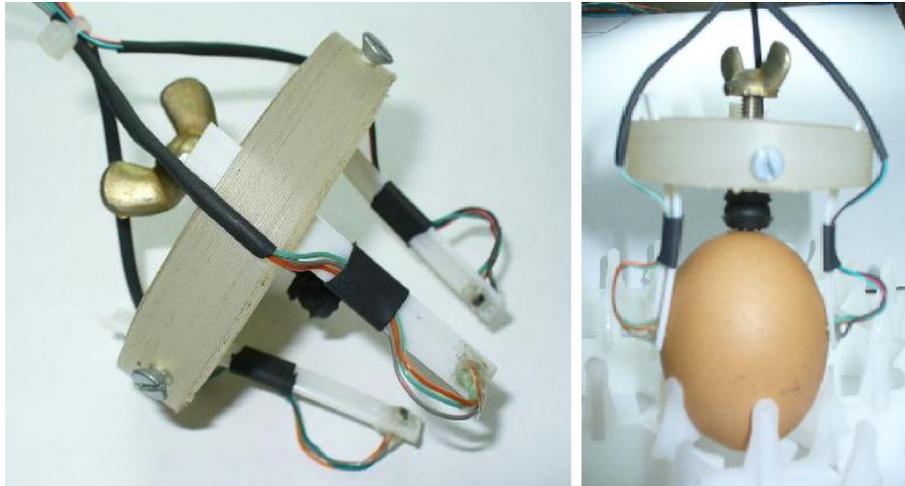


Figura 20. Dispositivo de medição de temperatura.

#### 4.4.2. Calibração dos sensores

Em total foram calibrados sete sensores LM-50, cuja disposição observada na Figura 21, é a seguinte: quatro no dispositivo de medição anteriormente descrito e três localizados dentro de um ovo instrumentado. Foi realizada uma calibração estática, registrando o sinal de saída quando o sistema conseguir se estabilizar, apresentando uma variação menor a 2% do valor desejado ou “*setpoint*”.

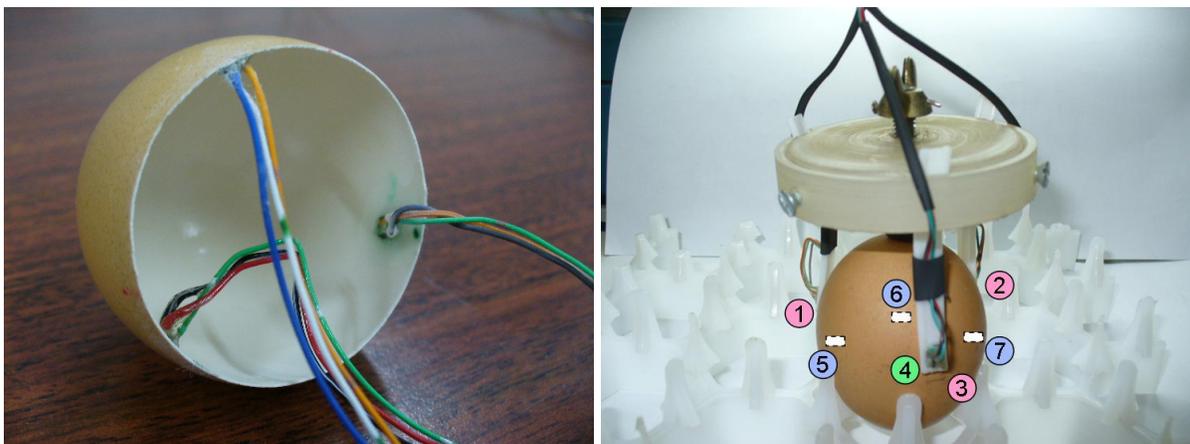


Figura 21. Localização dos sensores para medição de temperatura. 1,2, 3: Medição na casca. 4: Medição do ambiente a 10 mm da casca. 5, 6,7: Interior do ovo.

Para essa calibração foi utilizado um banho termostático de líquido Opherm Precitech<sup>3</sup>, fixando uma temperatura de referência. Os sensores LM50 foram alimentados por uma fonte com 5V de corrente contínua e mergulhados em água destilada. A calibração foi feita para uma faixa útil de temperatura entre 35°C e 40°C com intervalos de 0,5°C, valores que correspondem ao intervalo em que é levado o processo de incubação. Portanto o alcance ou diferença entre os extremos superior e inferior do campo de medida foi de 5°C. Foi utilizada também uma placa de aquisição USB 6009<sup>4</sup> (Figura 22), para levar os sinais até um computador e através do software de programação gráfica LabVIEW 8,5® armazená-los em um arquivo eletrônico, onde foram elaboradas as curvas de calibração. O registro dos dados foi feito cada 1 segundo.



**Figura 22. Equipamento de calibração e aquisição de dados**

Foi realizado um procedimento de calibração mais duas repetições, registrando os valores crescentes e decrescentes. Foram calculadas as principais características estáticas dos sensores: histerese, não linearidade, repetitividade e erro combinado. Uma equação e uma curva de calibração foram geradas para cada sensor com o propósito de calcular uma temperatura em graus Celsius em função de um valor de tensão de saída em Volts, de um valor do coeficiente angular e de um valor da interseção; sendo estes dois últimos, os parâmetros

<sup>3</sup> <http://www.precitech.net/>

<sup>4</sup> <http://www.ni.com/>

que descrevem o comportamento da reta de ajuste. O coeficiente de correlação foi obtido pelo método dos mínimos quadrados.

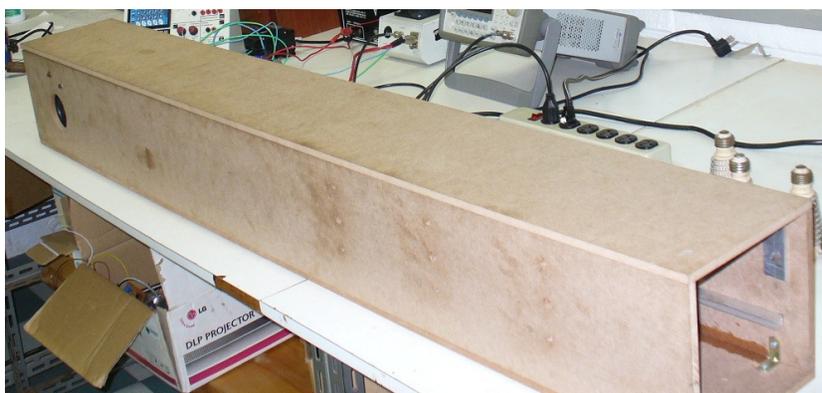
Partindo da definição feita no item 2.2.3.2., foi calculada a máxima histerese de cada sensor, calculando a diferença máxima entre as três leituras de tensão de saída ascendentes e as três leituras de saída descendentes, expressa em porcentagem do alcance ( $5^{\circ}\text{C}$ ). O valor da não linearidade foi calculado achando o valor máximo de afastamento entre a curva de calibração e a reta que melhor se aproxima (Figura 10). Devido à existência de histerese, a não linearidade foi calculada usando somente os valores ascendentes da curva. O valor da repetitividade foi obtido, achando a maior diferença entre o valor máximo e mínimo das leituras ascendentes expressa em porcentagem do alcance e a maior diferença entre o valor máximo e mínimo das leituras descendentes expressa em porcentagem. O erro combinado é obtido pela soma dos valores das três características estáticas calculadas anteriormente. Foi calculada a exatidão de cada sensor seguindo a Equação 3.

Para validar a equação de calibração obtida para cada sensor, os valores médios da tensão de saída foram substituídos nesta equação e foi calculado o erro com respeito à temperatura de referência. Adicionalmente, foi comparada a curva do sensor fornecida pelo fabricante com a curva de calibração.

#### **4.4.3. Validação do sistema de medição**

Devido à impossibilidade de testar o dispositivo em uma máquina incubadora em condições reais, foi construído um túnel de ar de 0,17 m de altura, 0,17 m de largura e 1,5 m de comprimento (Figura 23) em placa de fibra de madeira de media densidade (MDF), cuja condutividade térmica ( $0,12 - 0,15 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ ), exerce um maior controle da transferência de calor ao ambiente. Este túnel foi projetado e construído procurando manter a velocidade do ar constante em torno do ovo; para isto foram instalados um homogenizador e um defletor de fluxo. Dentro deste túnel foi localizado um ventilador centrífugo com um motor elétrico conectado a um circuito que faz a modulação da largura de pulso (PWM) do sinal, modificando a tensão de entrada no motor, a rotação do ventilador e a velocidade do ar dentro da câmara. Neste local foram também fixadas três velocidades de ar (1m/s, 2 m/s e 3m/s), presentes em diferentes condições da incubação. Dentro do mesmo túnel de ar, foram

posicionadas duas resistências elétricas que em total somam  $170\Omega$  para aquecer e aumentar a temperatura do ar dentro da câmara e simular a temperatura de incubação (Figura 24). Estas resistências foram conectadas a um relê e a um controlador lógico programável (PLC) para modificar a porcentagem de potência de aquecimento e variar manualmente a temperatura dentro da câmara.



**Figura 23. Túnel de ar para validação.**

Para observar a incidência da temperatura do ambiente externo ao ovo nas leituras registradas na casca pelo dispositivo de medição desenvolvido, um ovo cujas principais características são descritas na Tabela 8, foi aberto com um corte no sentido transversal e instrumentado com três sensores colados no interior da casca. O cálculo da área e do volume do ovo seguiu a metodologia feita por Narushin (2005). A gema e o albume foram retirados previamente por um furo feito na base menor do ovo, que logo foi fechado com silicone. Estes sensores foram posicionados na zona meia do ovo a  $120^\circ$  cada um. Ao mesmo tempo foi localizada uma resistência elétrica de  $47\Omega$  e  $5W$  de potência máxima dentro do ovo (Figura 25), com a finalidade de produzir um fluxo de calor de dentro para fora e simular a produção do calor do embrião.



Figura 24. Ventilador centrífugo e banco de resistências

Tabela 8. Características do ovo instrumentado

<i>Dimensões</i>	<i>Valores</i>
Comprimento (cm)	5,74
Largura (cm)	4,55
Área (cm <sup>2</sup> )	81,72
Volume (cm <sup>3</sup> )	71,0
Massa (g)	67,3

Para facilitar e homogeneizar o transporte do calor produzido pela resistência, o ovo foi preenchido com água destilada cuja condutividade térmica (0,58W/m°C) (SPELLS 1960) é similar à do interior do ovo. Posteriormente, o ovo foi fechado e colado com adesivo epóxi e uma camada de cianoacrilato, para impedir uma maior perda de calor nesta região. (Figura 25).

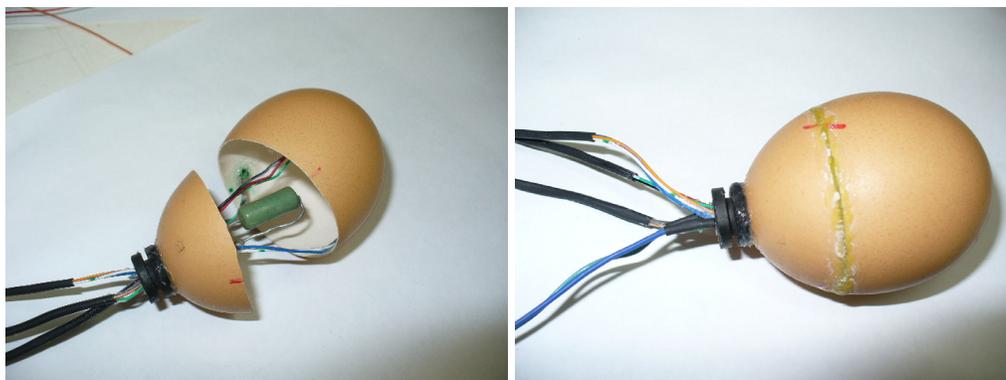


Figura 25. Instrumentação do ovo para ensaios

#### 4.4.4. Realização dos testes práticos

O ovo instrumentado foi posicionado em uma bandeja igual à que serve como suporte nas incubadoras e posteriormente levado ao túnel de ar junto com o dispositivo de medição desenvolvido (Figura 26). Nele foram simuladas três velocidades de vento (1m/s, 2m/s e 3m/s), medidas por um anemômetro digital de alta precisão<sup>5</sup> ( $\pm 0.025$  m/s). Foi deixada a faixa de temperatura dentro do ovo, entre 37,5°C e 38°C.

Os ensaios consistiram em verificar a exatidão dos registros de temperatura realizados pelo sensor com contato sob um fluxo de calor do exterior para o interior do ovo (aquecimento) e do interior para o exterior do mesmo (resfriamento), observando a incidência das velocidades do ar exterior nas leituras (Figura 27). Para atingir a condição de fluxo de calor do interior para o exterior do ovo, foi fornecida uma potência elétrica de 150mW na resistência elétrica interna no ovo. Este valor é uma aproximação do máximo calor produzido pelo embrião. Para atingir esta potência, foi utilizada uma fonte de tensão de alimentação variável e atendendo a lei de Joule para potência elétrica amostrada na Equação 5, foi fixada uma tensão de 2,65 V. O registro das leituras de temperatura foi realizado cada 1 segundo.

$$P = \frac{V^2}{R} \quad [5]$$

Onde P é a potência elétrica em Watts, V a tensão em Volts e R a resistência elétrica em Ohms.



Figura 26. Disposição dos ensaios práticos.

<sup>5</sup> TSI's line of VELOCICHECK® Air Velocity. TSI Incorporated. [www.tsi.com](http://www.tsi.com)

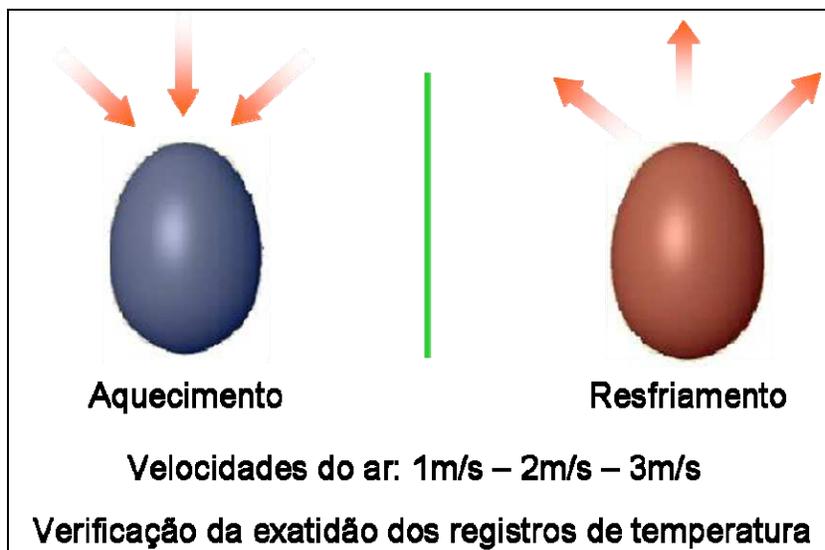


Figura 27. Esquema para realização dos ensaios.

## 4.5. RESULTADOS

### 4.5.1. Calibração estática

Os principais resultados dos cálculos da calibração estão ilustrados na Tabela 9. A partir desta, é possível observar que os valores da histerese, não linearidade e repetitividade para cada sensor, apresentaram valores máximos próximos a 0,40%. Os valores da repetitividade apresentam um máximo erro aleatório no sensor 4 de 0,33% ou  $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$  do alcance, considerando este último como  $5^{\circ}\text{C}$ .

O máximo erro combinado do instrumento apresentou-se no sensor 5, mas este valor não superou 0,81%, o que representa um erro na leitura de  $\pm 0,04^{\circ}\text{C}$ . As equações de calibração achadas têm um coeficiente de correlação próximo a 1,0, o que se traduz em uma relação linear. A máxima exatidão média apresenta-se no sensor 2 com 99,98%. A menor aproximação do valor indicado frente ao valor verdadeiro apresentou-se nos sensores 5, 6 e 7 em 99,96%. Em conjunto, os sensores calibrados apresentam uma exatidão média de 99,96%. Na Figura 28 pode-se verificar que os valores do erro que limitam a exatidão são:  $+0,032^{\circ}\text{C}$  e  $-0,055^{\circ}\text{C}$  e que o comportamento deste erro é aleatório. O erro sistemático máximo dos sensores em conjunto apresenta um valor máximo de diferença entre as duas temperaturas de

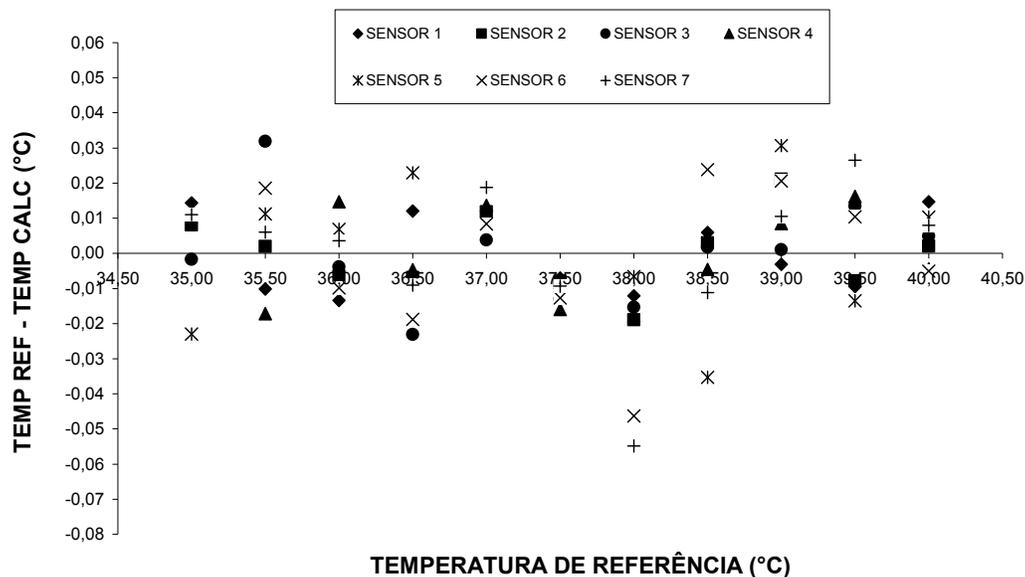
0,026°C. Os cálculos referentes à calibração e ao erro sistemático são amostrados em detalhe no Apêndice.

**Tabela 9. Resultados da calibração estática**

 <b>LIC</b> Laboratório de Instrumentação e Controle  <b>UNICAMP</b> Laboratório de Instrumentação e Controle LIC/FEAGRI/UNICAMP	<b>Dados do Sensor</b>		<b>Dados do Ensaio</b>		<b>Eq. Utilizado</b>
	Marca:	National	Tipo:	Temperatura	Equipo: Criotermostato
	Modelo:	LM-50	Data:	11/07/2008	Modelo: Ophtherm
Sensibilidade	10 [mV/°C]	Temperatura Ambiente:	23°C	Marca: Precitech	

**FAIXA ÚTIL (35°C - 40°C)**

CARACTERÍSTICA	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 5	SENSOR 6	SENSOR 7
Histerese (%)	0,27	0,30	0,35	0,30	0,41	0,31	0,24
Não Linearidade (%)	0,18	0,21	0,15	0,13	0,23	0,19	0,17
Repetitividade (%)	0,24	0,30	0,26	0,33	0,32	0,32	0,27
Máx Erro Comb. (%)	0,55	0,73	0,69	0,76	0,81	0,74	0,58
Coefficiente Angular	99,39	100,04	100,37	100,39	100,08	100,62	99,70
Intercepto	-50,21	-51,05	-51,56	-51,48	-51,29	-52,24	-50,79
Coef. Correlação	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
Média do erro T° Ref - T° Calc (°C)	0,009	0,009	0,008	0,011	0,016	0,017	0,015
Exatidão (%)	99,97	99,98	99,97	99,97	99,96	99,96	99,96



**Figura 28. Valor Absoluto do erro entre Temperatura de Referência e Calculada**

Os cálculos realizados permitem concluir que a calibração estática oferece um alto grau de exatidão e o valor indicado pelo sensor depois de aplicar a equação de calibração, se afasta do valor verdadeiro em torno dos 0,03°C.

A Figura 29 compara as curvas de calibração com a reta de referência fornecida pelo fabricante, estabelecendo-se que o erro máximo de precisão (próximo a 1,5°C para o sensor 6) é menor do que o valor máximo aceitável nas especificações do mesmo ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ). Este erro caracterizado por um sobresinal ou *'overshoot'* diferente para cada sensor, se mantém constante para todas as leituras realizadas, podendo-se fazer uma correção geral do valor registrado. Este sobresinal existe devido a possíveis defeitos próprios do sensor incluindo imperfeições dos materiais que o compõem.

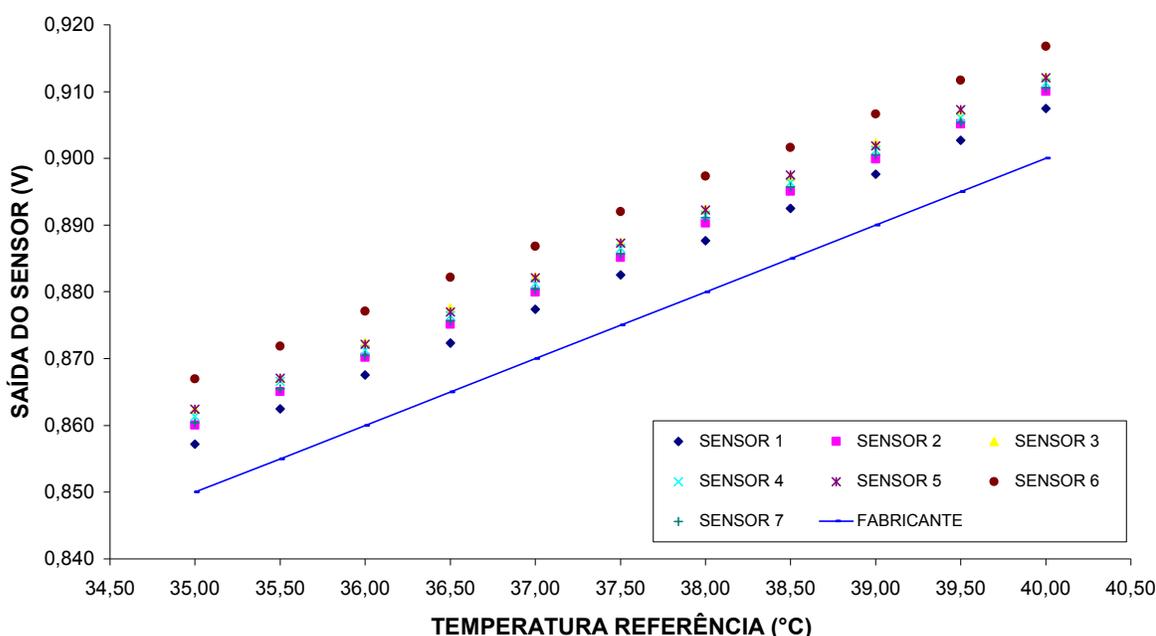


Figura 29. Curva de Calibração de sensores e reta de referência

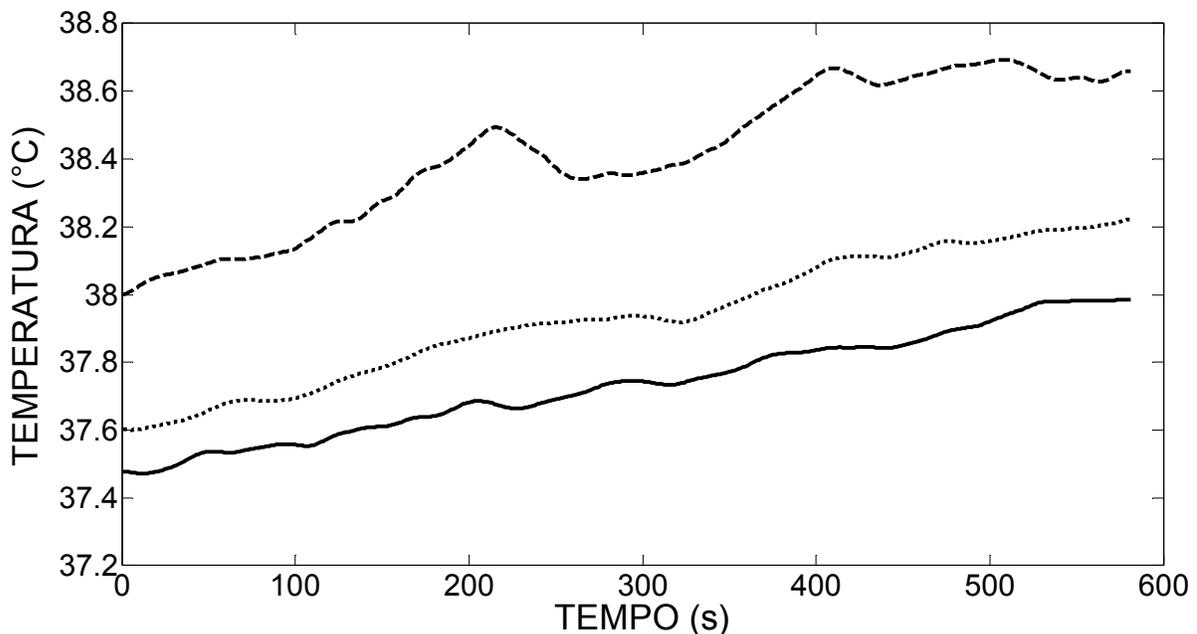
#### 4.5.2. Validação do sistema de medição

O comportamento do sensor de temperatura por contato desenvolvido foi analisado frente às alterações das condições externas da temperatura ambiente para cada velocidade do ar fixada. Este comportamento também foi analisado em função dos sentidos do fluxo de

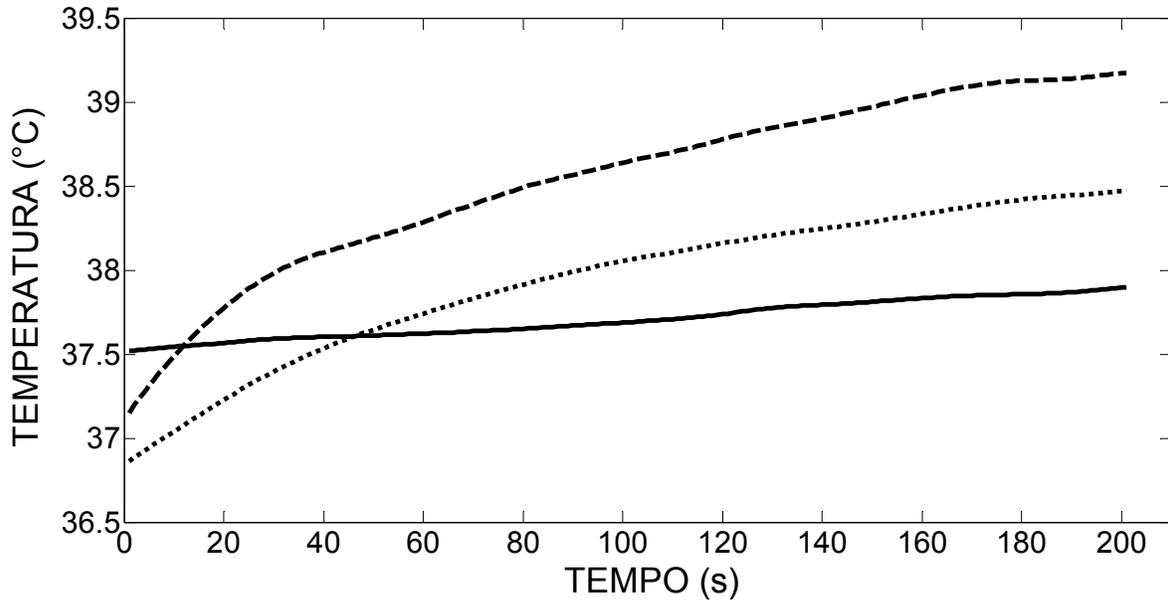
calor, ou seja, do exterior para o interior ou do interior para o exterior do ovo. A temperatura de referência ou valor verdadeiro foi assumida como a temperatura medida dentro do ovo. Cada condição é representada com uma figura já que as alterações da temperatura ambiente foram diferentes em cada um dos ensaios.

Os dados experimentais foram submetidos a um processo de filtragem com a finalidade de separar o sinal do ruído e de outros componentes indesejáveis associados à medição. O procedimento de filtragem foi realizado no software Matlab 7.5.0 (2007b)®, através da ferramenta Simulink®. O filtro digital utilizado foi da classe *Butterworth*, do tipo passa-baixo, de ordem 2 com 0,01 Hz de frequência de corte.

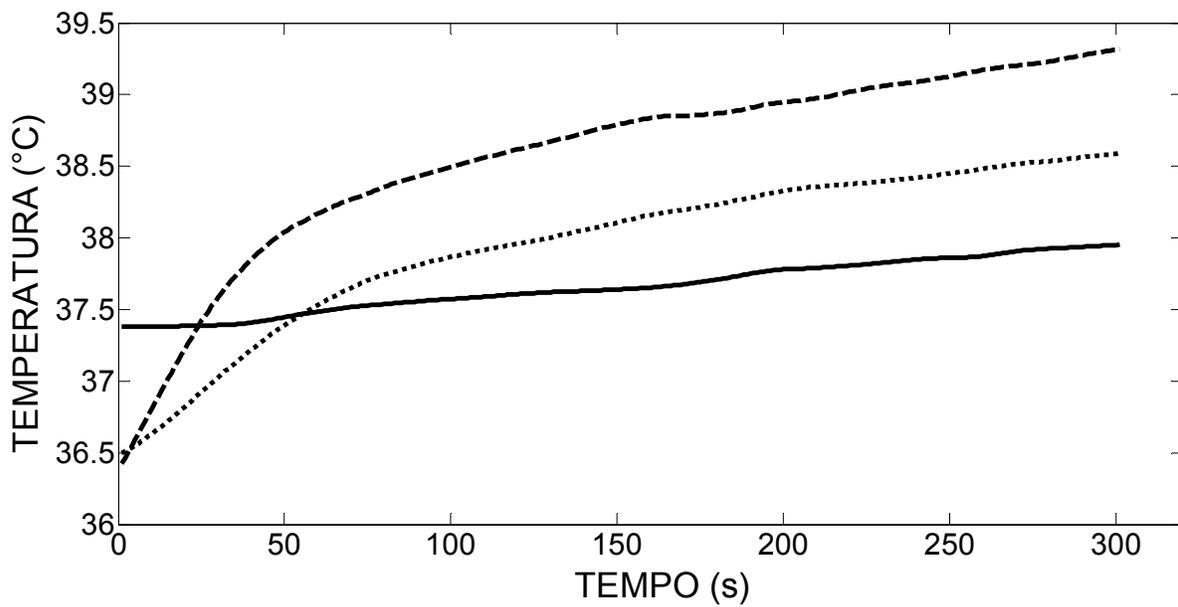
Na Figura 30 são apresentados três ensaios realizados com fluxo de calor do exterior para o interior do ovo com a finalidade de simular a condição inicial do processo de incubação na qual o ovo produz pouco calor e a máquina é a encargada do seu aquecimento. A Figura 30A representa o ensaio realizado para a velocidade do ar de 1m/s, observando-se os sinais já filtrados. Nesta gráfica é possível observar a influência da temperatura do ambiente na leitura do sensor externo com contato, afastando-se do valor verdadeiro na média de 0,2°C. Nesta condição a exatidão do dispositivo de contato está em torno de 99,4%. Pode-se também notar que essa influência da temperatura ambiente na leitura do sensor posicionado na casca é diretamente proporcional.



A. Velocidad do ar: 1m/s



B. Velocidade do ar: 2 m/s



C. Velocidade do ar: 3m/s

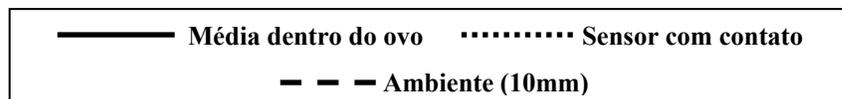
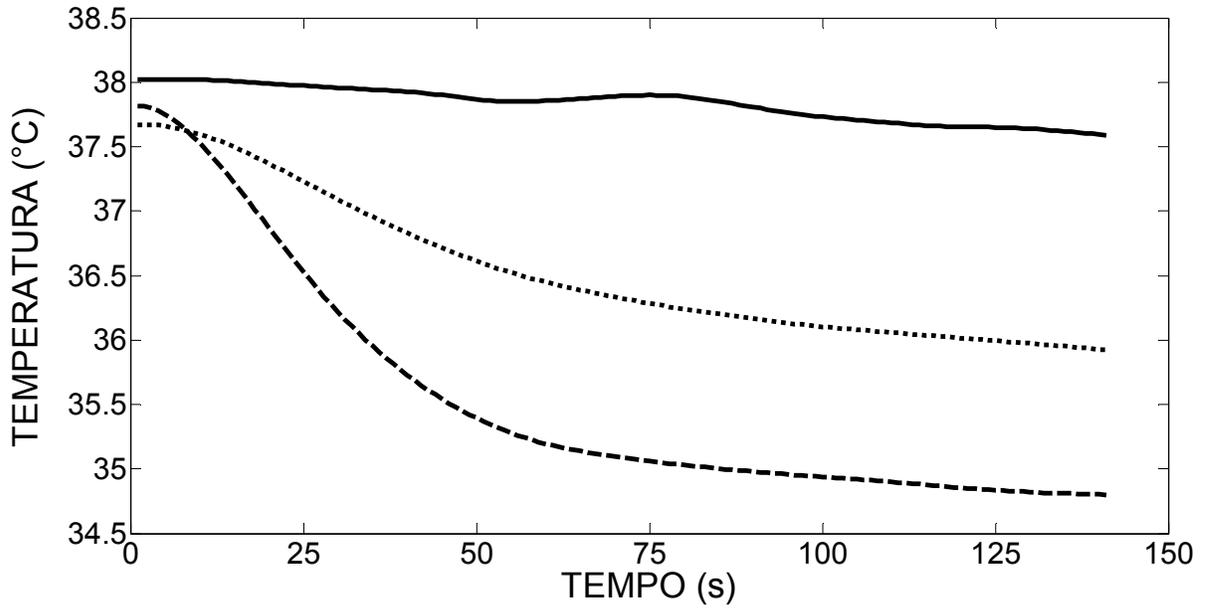


Figura 30. Registro da temperatura para fluxo de calor do exterior para o interior do ovo.

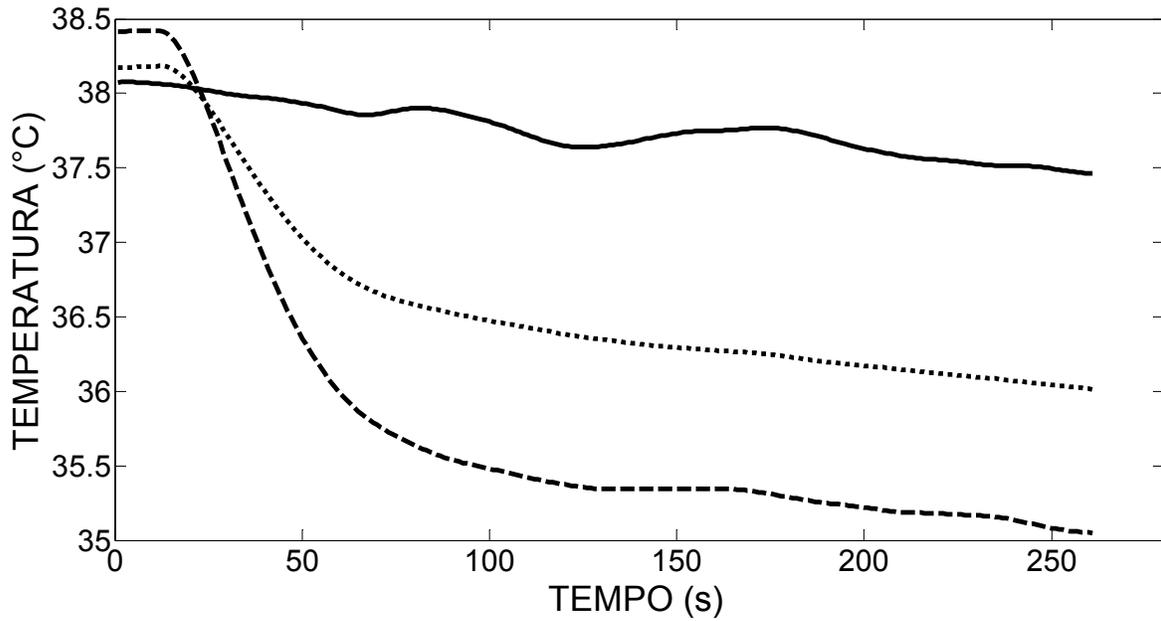
Na Figura 30B e na Figura 30C se apresentam ensaios com velocidades do fluxo de ar ao redor do ovo de 2m/s e 3m/s respectivamente. Nestas figuras também é mantida a temperatura interna do ovo entre 37,5°C e 38°C. Tanto na Figura 30B quanto na Figura 30C se pretende subir a temperatura do ovo em 0,5 °C, observando-se uma incidência direta da alteração da temperatura do ambiente na temperatura registrada pelo sensor colocado na casca. Esta influência é quantificada pela diferença de 0,5°C entre o valor registrado pelo sensor e o valor de referência dentro do ovo, diminuindo a exatidão do sensor com contato nas duas velocidades até 98,5%. A mudança da velocidade do ar do ambiente externo ao ovo tem um efeito desprezível no registro de temperatura do sensor com contato, sendo desta forma, a temperatura do ambiente a causa mais relevante da diminuição da sua exatidão.

Os três ensaios seguintes apresentados na Figura 31 correspondem a testes realizados para o fluxo de calor do interior para o exterior do ovo, com a finalidade de simular a produção de calor máxima do embrião no final do processo de incubação, onde a máquina resfria o ovo mantendo a sua temperatura ótima de incubação.

Nas Figura 31A, B e C são representados testes realizados para as velocidades do ar exterior ao ovo de 1 m/s, 2m/s e 3m/s respectivamente. Embora nestes últimos ensaios foi preciso alterar em maior magnitude a temperatura do ambiente devido ao fluxo de calor gerado no interior do ovo, de forma geral, apresenta-se, ao igual que nos ensaios realizados anteriormente, uma influência direta da temperatura do ambiente externo na temperatura registrada pelo dispositivo com contato. Essa influência em maior proporção diminui também a exatidão das leituras registradas pelo sensor com contato, observando-se valores de até 96% nos testes realizados para a velocidade do ar de 1m/s e 2m/s e de 97% para 3m/s. Além disso, foi possível observar que a variação da velocidade do ar do ambiente externo ao ovo tem um efeito desprezível no registro de temperatura do sensor com contato.



A. Velocidade do ar: 1m/s



B. Velocidade do ar: 2m/s

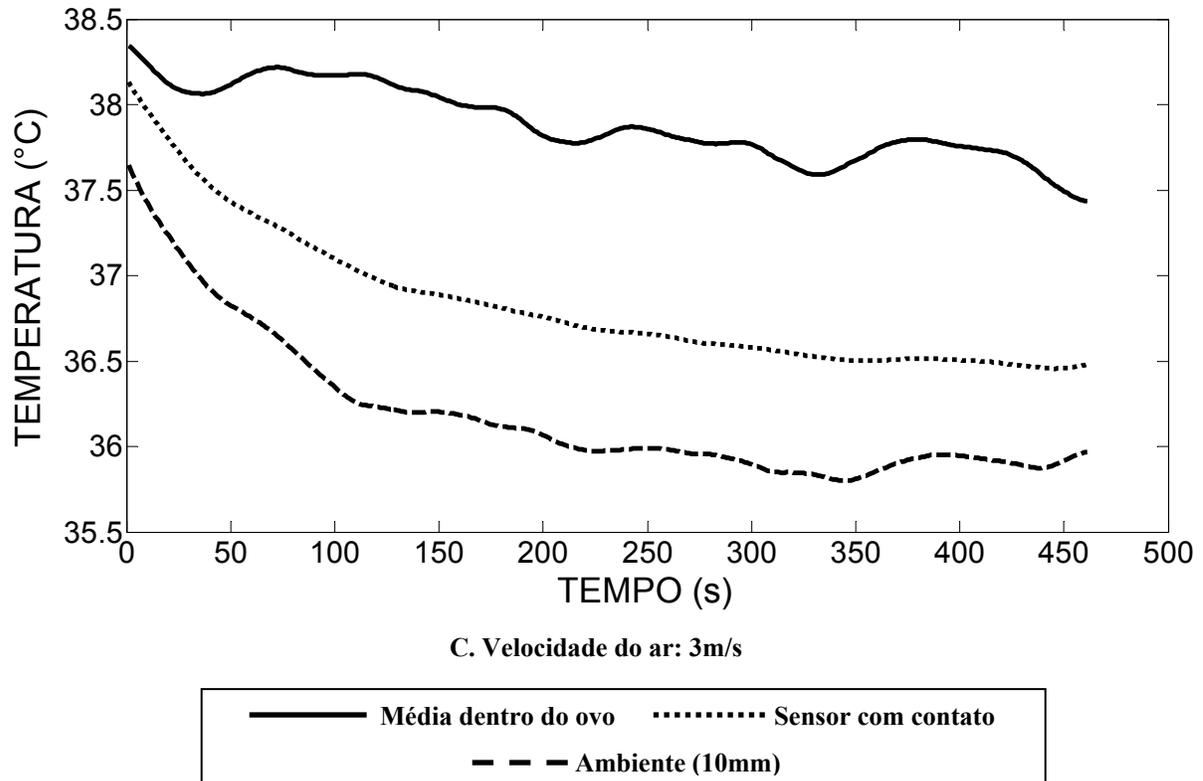


Figura 31 .Registro da temperatura para fluxo de calor do interior para o exterior do ovo

#### 4.6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Partindo dos resultados obtidos, encontra-se que em geral a exatidão do dispositivo para as diferentes condições apresenta um valor médio de 97,7% e o valor mínimo registrado corresponde a 96%. Este último valor foi o resultado da alteração da temperatura ambiente para diminuir a temperatura do ovo quando se tem o fluxo de calor do interior para o exterior do ovo. Nesta condição é preciso diminuir em maior proporção a temperatura do ambiente, afetando assim o registro do sensor com contato. Os resultados amostram que todas as leituras do sensor desenvolvido em contato com a casca, são influenciadas diretamente pela variação da temperatura ambiente, observando-se uma pequena perda da exatidão em torno de 3% do valor de referência.

Os resultados permitem concluir que a velocidade do ar tem uma influência desprezível no registro da temperatura da casca.

A troca de posição dos três sensores que fazem parte do dispositivo encostado na casca, não representa nenhuma diferença nas leituras possibilitando localizar o dispositivo de forma aleatória na região meia do ovo.

Foi verificado que o comportamento térmico do ovo é mais lento do que o comportamento do sensor localizado na casca e do que o comportamento do ambiente externo.

De forma geral foi observado que o sensor com contato na casca consegue medir a temperatura do ovo com um erro máximo de 1°C, tornando-se assim uma ferramenta adequada para a medição da temperatura interna do ovo.

Embora o sensor desenvolvido reaja com a temperatura ambiente da câmara, esta interferência não causará problema na medição da temperatura do ovo para os 18 dias e a sua diminuição da exatidão em torno de 3% pode ser desprezível, facilitando a quantificação da temperatura do ovo no processo de incubação.

O dispositivo de medição desenvolvido é um protótipo que pretende contribuir na busca da melhor forma de medir a temperatura do embrião dentro de uma máquina incubadora, com a finalidade de quantificar sua bioresposta às diferentes variações das condições físicas presentes no ambiente e melhorar as estratégias de controle dos parâmetros operacionais das máquinas. Para isto, é sugerido em pesquisas posteriores, um estudo mais detalhado da sua implementação e da sua operacionalidade dentro da máquina incubadora.

## **5. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DE OVOS PARA INCUBAÇÃO COM SENSORES COM CONTATO E SEM CONTATO.**

### **5.1. RESUMO**

Nas máquinas incubadoras existe ainda a dificuldade para a medição da temperatura de ovos. Tem-se amostrado em diversas pesquisas que o registro da temperatura do embrião permite conhecer a bioresposta às variações das condições físicas no espaço confinado e facilitar o desenvolvimento de estratégias de controle que contribuam à melhora da eficiência da incubadora, aumentando a eclosão e a sincronização da janela de nascimentos. Este trabalho teve como objetivo realizar medições da temperatura da casca do ovo através de sensores com contato e sem contato, verificando a sua exatidão e comparando o funcionamento destes para diferentes condições de velocidade do ar e de fluxo de calor. Foi utilizado um dispositivo de medição composto por sensores de temperatura com contato tipo circuito integrado, localizado na região meia do ovo e um sensor infravermelho utilizado em medições preliminares dentro de máquinas incubadoras. Estes dispositivos mediram a temperatura de um ovo previamente instrumentado com três sensores de temperatura tipo circuito integrado, simulando diferentes condições presentes na incubação. Os sensores e o ovo foram posicionados em um túnel de ar projetado e construído para manter a temperatura e velocidade do ar em um range determinado. Encontrou-se que a velocidade do ar e suas variações presentes no ambiente ao redor do ovo, não intervêm nas leituras dos sensores com e sem contato usados nos testes. Observou-se que a temperatura do ambiente circundante ao ovo influencia diretamente a leitura dos dois tipos de sensores de temperatura e que a proporção desta influência está em função do tempo de resposta de cada um deles. Esta influência é representada pelo distanciamento do valor medido respeito ao valor verdadeiro e, por conseguinte em uma diminuição da exatidão dos sensores. Verificou-se que o sensor com contato consegue medir de forma mais exata a temperatura do ovo e o seu comportamento térmico. Foi encontrado também que em condições de regime permanente o sensor sem contato testado apresenta um erro constante de 3°C, o qual é bastante grande comparado com o valor da faixa de temperatura ótima de incubação assumida, podendo apresentar um aumento na incerteza da medida.

**Palavras Chaves:** Temperatura, Incubação, Sensores com contato, Sensores sem contato, Exatidão.

## **5.2. ABSTRACT**

Currently, there is a difficulty in the incubator machine relating to the measurement of the egg temperature. In various researches it has been shown that the embryo temperature registry allows to know the bioresponse to the variations of the physical conditions in the confined space and it also facilitates control strategies development which contribute to improve the incubator efficiency, in this way it increases the hatching and synchronizing the births time. The aim this work was to measure the temperature of the eggshell through contact sensors and without contact, being verified the recordings accuracy and comparing their operation in different conditions of air speed and heat flow. It was used a device of measurement composed for integrated circuit type temperature sensors, which are located in the average region of the egg and an infrared sensor utilized in preliminary measurements inside the incubator machines. These devices measured the temperature of an egg previously instrumented with three integrated circuit type temperature sensors, being simulated different conditions which take place in incubation. Measurement devices and the egg were placed into a projected air tunnel, a fact that was built to maintain the temperature and the air speed in a specific rank.

It was found that the air speed and its variations presents in the environment around the egg, do not affect in the readings of the contact sensors and without contact. It was observed that the temperature of the surrounding atmosphere to the egg influences directly in the recording of both types of temperature sensors and that the proportion of this influence is based on the delay time of each one of them. This influence is represented by the difference of the measured value regard to the true value and as a result it indicates an accuracy decrease of the sensors registration. It was verified that the contact sensor does measure more accurate the egg temperature and its thermal behavior. It was also found that in conditions of equilibrium the tested without contact sensor present a recurrent error of 3°C, which is quite large

compared with the assumed rank of optimum temperature value of incubation, increasing the measurement uncertainty.

**Keywords:** Temperature, Incubation, Contact sensors, Non-contact sensors, Accuracy.

### 5.3. INTRODUÇÃO

No processo de incubação existem objetivos alvos para aumentar o desempenho das máquinas incubadoras, incrementando a porcentagem de eclosão e ajustando o tempo dos nascimentos. Na atualidade estes fatores são considerados uns dos principais gargalos da indústria avícola e são motivo de estudo por vários pesquisadores. A temperatura do embrião dentro da máquina é uma das variáveis físicas que é responsável principalmente pelo desenvolvimento deste e pelo desempenho pós-eclosão. Romijn e Lokhorst (1960), Lourens *et al.* (2005), Brinsea (2006), Joseph *et al.* (2006), Lourens *et al.* (2007) e Hulet *et al.* (2007) entre outros, definiram a temperatura ótima de incubação do ovo (37,5°C – 37,8°C). Burton *et al.* (1989), Whittow e Tazawa (1991), Visschedijk (1991) Van Brecht *et al.* (2005), e Lourens *et al.* (2005) pesquisaram os efeitos dos desvios da temperatura ótima e encontraram que podem modificar o tempo de incubação devido à variação do metabolismo do embrião, chegando até influenciar na porcentagem de eclosão. Devido a isto se torna muito importante a medição da temperatura do embrião com o fim de conhecer a bioresposta às mudanças das variáveis físicas existentes nas incubadoras, possibilitando desta forma desenvolver estratégias de controle para manter a temperatura na faixa adequada. Van Brecht *et al.* (2001) usou uma câmera termográfica para registrar as leituras da temperatura do ovo dentro da incubadora e conseguir descrever os gradientes de temperatura do embrião no processo. Joseph *et al.* (2006) e Hulet *et al.* (2007) registraram as temperaturas na casca com termômetros infravermelhos de alto custo usados em medições de temperatura corporal. Além disso, autores como Lourens *et al.* (2005), utilizaram termistores e termopares de contato fixados dentro ou fora da casca com fitas ou películas adesivas, cuja finalidade não pretendia o desenvolvimento e estabelecimento de dispositivos de instrumentação capazes de medir com exatidão a temperatura do ovo dentro da máquina. A falta deste dispositivo fez que nos últimos meses os fabricantes das incubadoras mostrassem interesse pelo uso e implementação de sensores dentro da máquina

para medir a temperatura do ovo, sendo assim na atualidade possível observar perto do ovo sensores sem contato (Infravermelhos), que realizam o registro da temperatura de uns poucos ovos da bandeja. Até agora não se tem estudado o desempenho deste tipo de sensores no processo nem os erros das leituras frente ao valor verdadeiro. Devido ao alto preço destes sensores no mercado e ao número de amostragens realizado, vê-se restrito seu uso a poucas leituras, sendo não representativas do total da população de ovos na máquina.

O desempenho dos sensores infravermelhos na medição da temperatura em uma máquina incubadora pode ser também questionado pelo seu princípio de funcionamento baseado segundo Pokorni (2004) na leitura da radiação infravermelha resultado da soma da radiação emitida pelo objeto, da radiação circundante refletida por ele mesmo e da radiação da atmósfera existente entre o objeto e o sensor. No ambiente confinado da máquina incubadora apresentam-se modificações da temperatura do ambiente que podem interferir na exatidão das leituras feitas pelo sensor infravermelho.

O desenvolvimento de um sensor por contato na casca tem sido descartado e questionado pelas desvantagens de ter que entrar em contato com o ovo, pela dificuldade de adaptar um dispositivo que se consiga fixar à casca e ao tamanho do ovo, pelo espaço disponível entre as bandejas para sua colocação e pela dificuldade na operacionalidade dos cabos e fios necessários para sua ligação; mas é sabido que um sensor deste tipo pode-se apresentar como uma alternativa na medição exata da temperatura do embrião assim como uma solução econômica para o incremento das amostras dentro da máquina. O objetivo deste trabalho foi comparar as leituras da temperatura do ovo feitas por um sensor de contato e um sem contato com o fim de verificar a exatidão e o desempenho destes às diferentes alterações da temperatura ambiente.

#### **5.4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação e Controle (LIC) na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas SP. Brasil.

#### 5.4.1. Medição da temperatura com contato na casca

Foi utilizado um dispositivo desenvolvido no Laboratório de Instrumentação e Controle (LIC) que usa três sensores LM50 da National Semiconductor Corporation<sup>6</sup> encostados na casca e que permite o seu ajuste ao tamanho do ovo (Figura 32). O dispositivo está composto também por um sensor a 10 mm da casca para registrar a temperatura média no ambiente ao redor do ovo. Todos estes sensores foram previamente calibrados para obter a maior exatidão nas medições. A medição foi efetuada na região meia do ovo, já que é nesta região onde está presente a maior quantidade de poros e microporos.

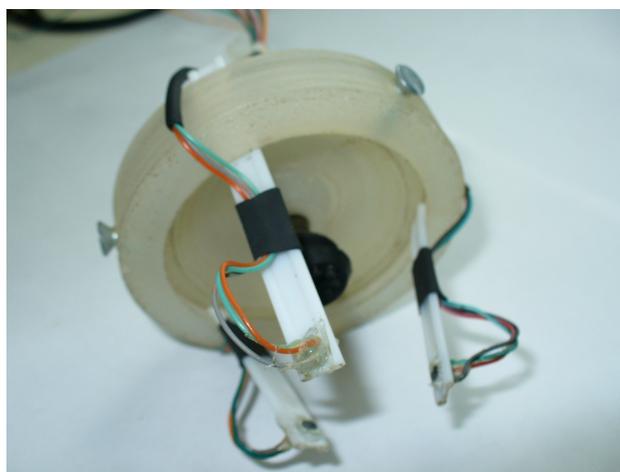


Figura 32. Dispositivo de medição com contato na casca

#### 5.4.2. Medição da temperatura sem contato na casca

Foi utilizado um sensor infravermelho marca Omega OS-136<sup>7</sup> (Figura 33) usado em alguns ensaios preliminares feitos em máquinas incubadoras. As especificações técnicas podem ser observadas na Tabela 10. Este sensor que produz um sinal de tensão de saída como leitura da temperatura, tem a vantagem de permitir a aquisição de dados com a placa USB 6009 e a facilidade para localizá-lo na bandeja do ovo.

<sup>6</sup> . <http://www.national.com/mpf/LM/LM50.html>

<sup>7</sup> <http://www.omega.com/ppt/pptsc.asp?ref=OS136&Nav=temj09>



**Figura 33. Sensor infravermelho**

**Tabela 10. Principais especificações do sensor infravermelho**

<i>Especificações do sensor Infravermelho</i>	<i>Marca: Omega OS – 136-1</i>
Sensibilidade (mV/°F)	10
Range de Temperatura °F (°C)	0 – 400 (-18 – 204)
Exatidão	3% Leitura ou 8 °F (4,4 °C) Fundo de escala
Repetitividade (%)	1% da leitura
Tempo de Resposta (mseg)	150
Emissividade	0,95

#### **5.4.3. Montagem e realização dos ensaios**

O objetivo dos ensaios consistiu em verificar a exatidão dos registros de temperatura realizados pelos sensores com contato e sem contato sob um fluxo de calor do exterior para o interior do ovo (aquecimento) e do interior para o exterior do mesmo (resfriamento), observando a incidência das velocidades do ar exterior nas leituras. Para isto foi usado um túnel de ar de 0,17 m de altura, 0,17 m de largura e 1,5 m de comprimento, construído em placa de fibra de madeira de media densidade (MDF), no qual foi localizado um ventilador centrífugo para simular três velocidades de vento (1m/s, 2 m/s e 3m/s), junto com um banco de resistências com a finalidade de manter a temperatura do ar dentro da câmara na faixa desejada e simular a temperatura de incubação. Tanto o sensor de contato quanto o sensor sem contato foram dispostos em uma bandeja dentro do duto (Figura 34) para fazer a leitura da temperatura em um ovo previamente instrumentado com sensores de temperatura e uma resistência elétrica

no seu interior. A partir de um controle manual, foi alterada a temperatura do ambiente com o fim de manter constante a temperatura dentro do ovo na faixa de 37,5°C a 38°C. Esta última temperatura foi considerada como o valor de referência ou verdadeiro. Os sensores foram conectados a uma placa de aquisição, cujos dados foram armazenados em um arquivo eletrônico para sua posterior análise.

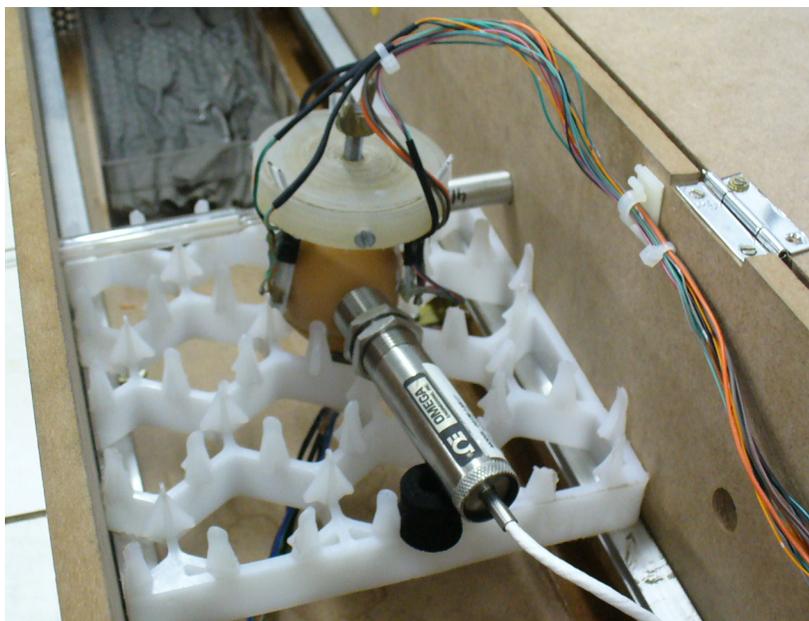


Figura 34. Montagem dos dispositivos para registro da temperatura com contato e sem contato

## 5.5. RESULTADOS

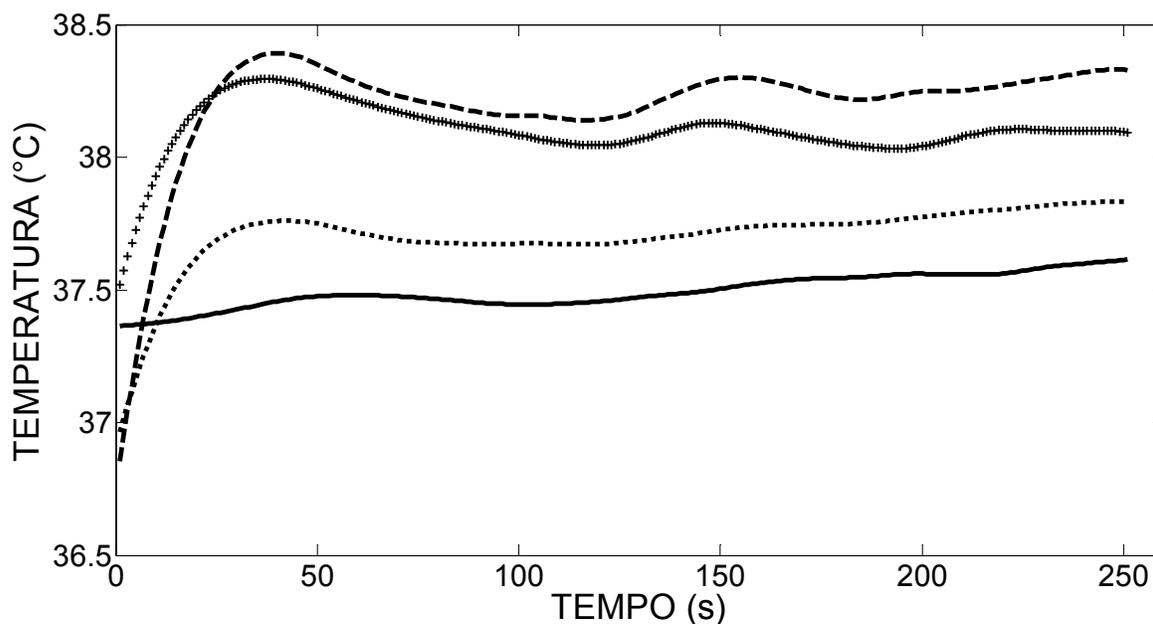
Os dados obtidos nas práticas foram submetidos a um processo de filtragem realizado no software Matlab 7.5.0 (2007b), através de uma simulação na ferramenta Simulink. O filtro digital utilizado foi da classe *Butterworth*, do tipo passa-baixo, de ordem 2 e de 0,01 Hz de frequência de corte.

Na Figura 35 são apresentados os registros da temperatura dos sensores com e sem contato para uma mesma condição na que é aplicado fluxo de calor do exterior para o interior do ovo.

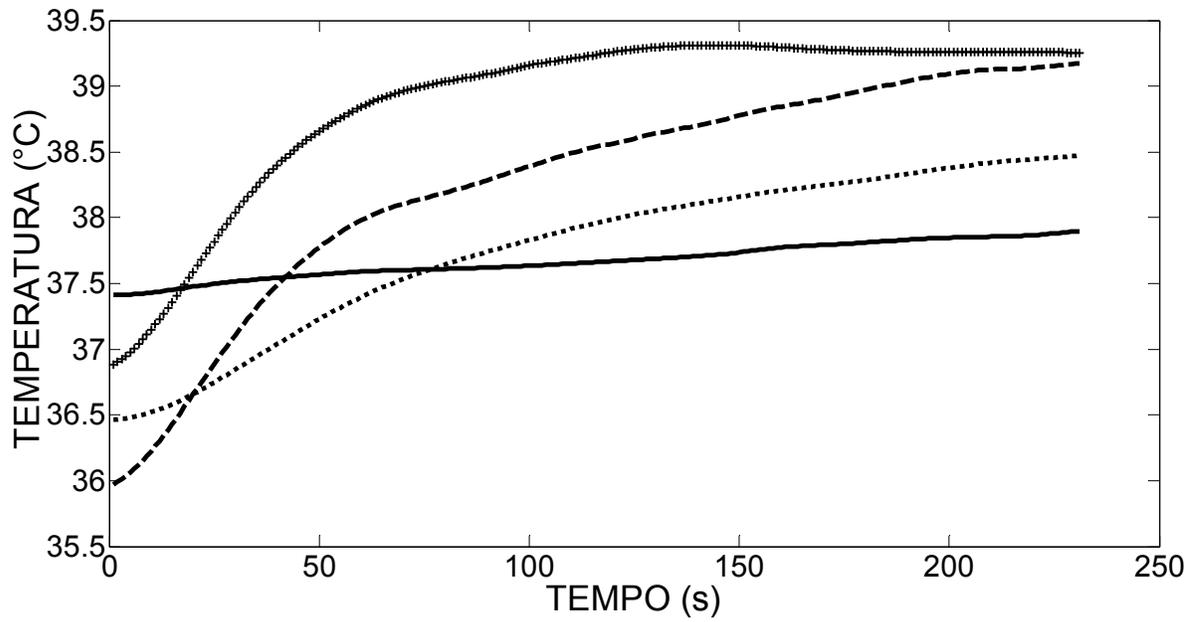
Nas Figura 35A, B e C foram estabelecidas velocidades constantes do ar em 1m/s, 2m/s e 3m/s respectivamente, observando-se que tanto o sensor de contato quanto o sensor

sem contato apresentam alterações nas suas leituras devido à alteração na temperatura ambiente externa ao ovo. Da mesma forma observa-se que o erro na leitura do sensor com contato é menor respeito ao registro do sensor sem contato, sendo este último mais influenciado pela variação da temperatura ambiente. A menor exatidão dos dispositivos de medição foram 98,4% para o sensor com contato e de 95,7% para o sensor sem contato, apresentando-se uma melhor aproximação do sensor com contato à temperatura do ovo no regime transitório.

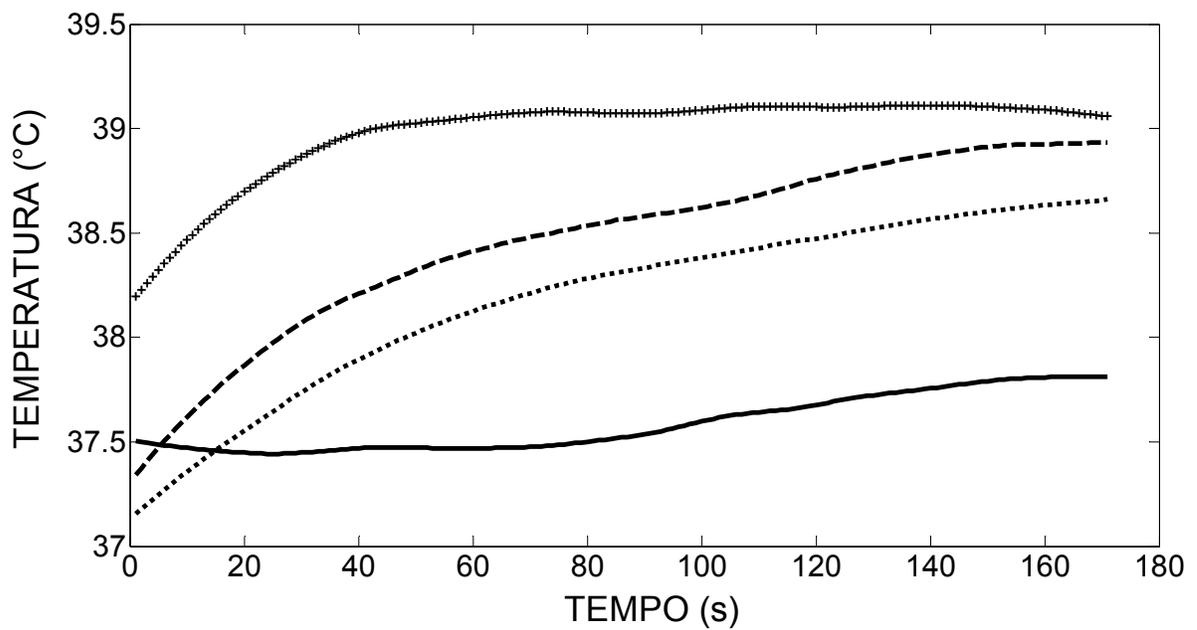
Nos três ensaios observa-se também que a influência da variação da velocidade do ar nas leituras dos sensores testados pode ser desprezível. Note-se também que o tempo de resposta do sensor sem contato é menor em relação ao sensor com contato, o que o torna mais susceptível às variações da temperatura do ambiente.



A. Velocidade do ar: 1 m/s



B. Velocidade do ar: 2 m/s



C. Velocidade do ar: 3 m/s

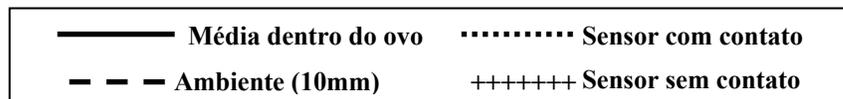
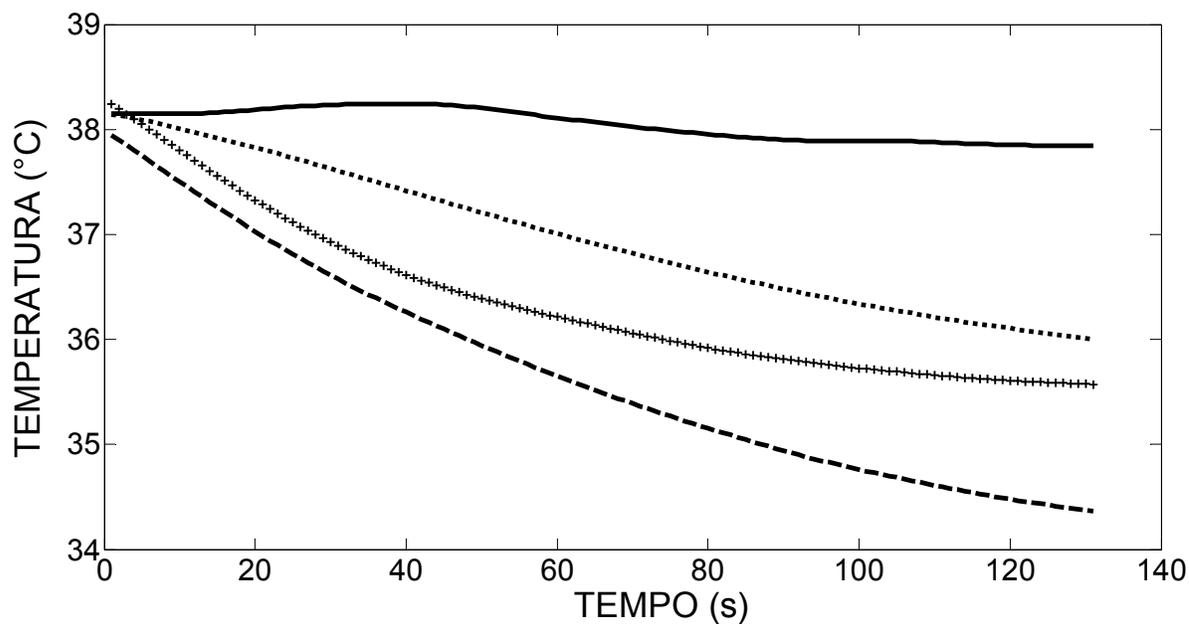
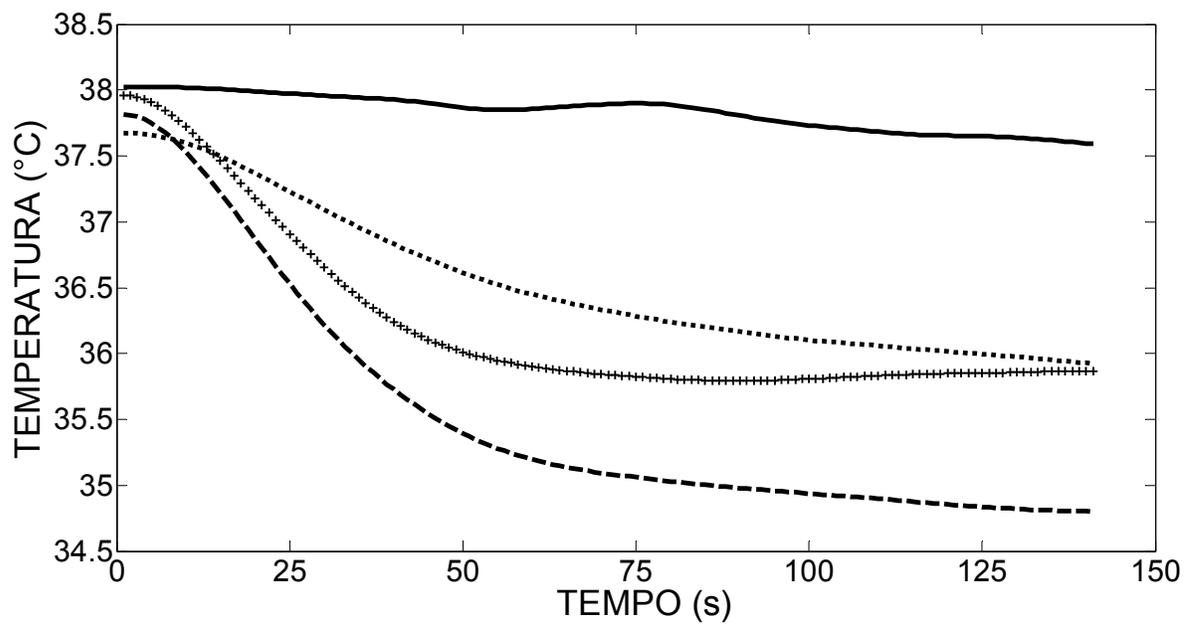


Figura 35. Registro da temperatura para fluxo de calor do exterior para o interior do ovo.

Na Figura 36 são apresentados três ensaios realizados para a condição na qual é fornecido um fluxo de calor constante de 150 mW do interior para o exterior do ovo, sendo preciso resfriá-lo para manter a temperatura deste na faixa adequada de incubação.



A. Velocidade do ar: 1 m/s



B. Velocidade do ar: 2 m/s

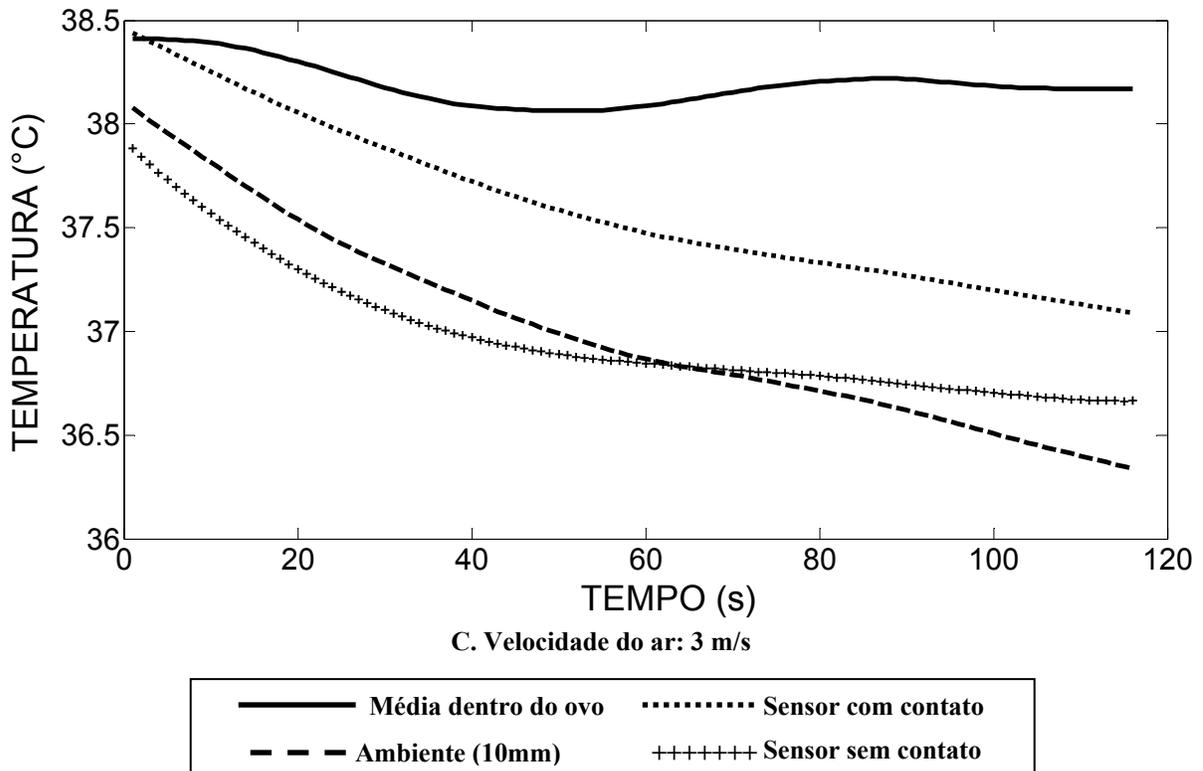


Figura 36. Registro da temperatura para fluxo de calor do interior para o exterior do ovo

Nas Figura 36A, B e C foram fixadas velocidades do ar de 1m/s, 2m/s e 3m/s respectivamente, observando-se que a influência da variação da velocidade do ar nas leituras dos sensores testados pode ser desprezível. Foi verificado que a variação da temperatura ambiente afeta a leitura da temperatura registrada pelos dois sensores. Nesta condição devido ao fluxo de calor interno, deve-se alterar em maior proporção a temperatura do ar ao redor do ovo, com a finalidade de diminuir a sua temperatura interna. Devido a essa alteração, se apresenta um maior erro nas leituras, diminuindo a sua exatidão para o sensor com contato e sem contato até 95% e 93% respectivamente. Note-se também nos três ensaios da Figura 36 que o sensor com contato descreve com maior exatidão a temperatura do ovo, devido principalmente ao seu tempo de resposta, que é menor que o do sensor sem contato.

Finalmente, com o objetivo de verificar o comportamento dos dispositivos de medição no regime permanente, realizou-se um ensaio procurando a aparente estabilização das temperaturas do ambiente e do ovo e verificaram-se as temperaturas registradas pelos sensores. Observou-se um erro constante de 3 °C na leitura do sensor sem contato, frente a 0,5°C do sensor com contato. Este erro manteve-se constante durante as 10 horas de medição. (Figura 37).

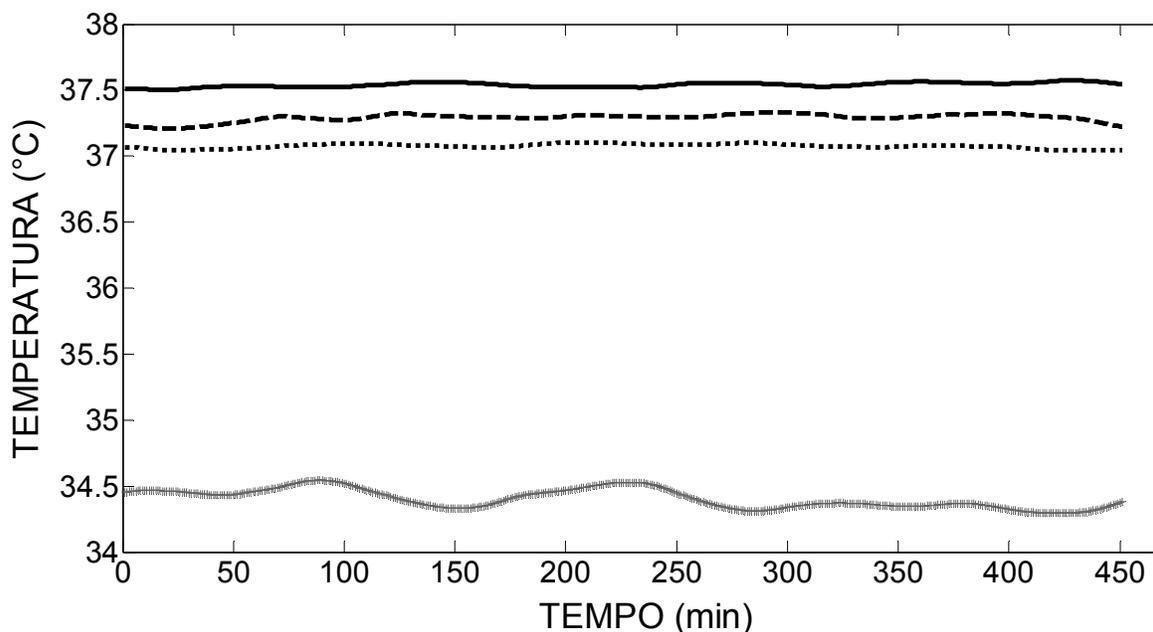
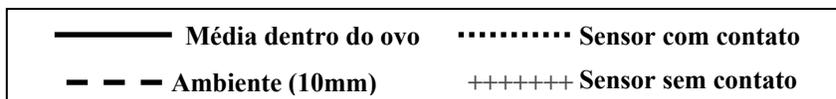
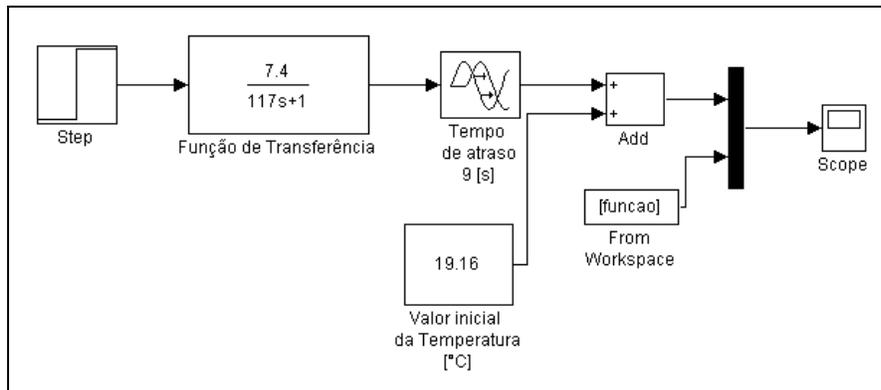


Figura 37 Registro dos sensores com e sem contato em condições de regime permanente



### 5.5.1. Cálculo da Função Transferência

Com o fim de disponibilizar os dispositivos de medição para o estabelecimento de estratégias de controle que aumentem a eficiência e melhorem os parâmetros funcionais das máquinas incubadoras, é apresentada na Equação 6 a função de transferência do sensor com contato encostado na casca. Para seu cálculo foi utilizada a ferramenta Simulink do software Matlab 7.5.0 (2007b).



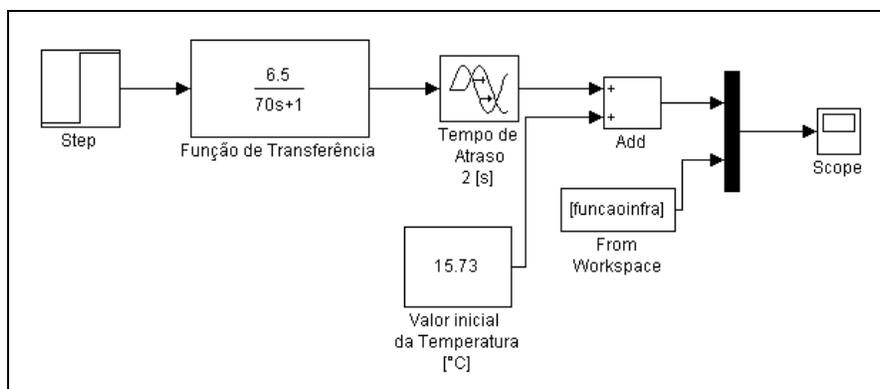
**Figura 38. Esquema do cálculo da função de transferência para o sensor com contato**

Na Figura 38 é ilustrado o procedimento de simulação realizado para obter a função de transferência para um sistema de primeira ordem. Para isto foi aplicada uma entrada de tipo degrau unitário a uma temperatura inicial de 19.16°C registrada pelo sensor. Posteriormente foram calculados experimentalmente os parâmetros da função transferência: a sensibilidade estática ou ganho (K), a constante de tempo ( $\tau$ ) e o tempo de atraso ( $t_d$ ). Os valores da função que melhor descrevem a curva de resposta do sistema térmico são apresentados na Equação 6.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau s + 1} = \frac{7.4e^{-9s}}{117s + 1} \quad [6]$$

Para o cálculo da função de transferência do sistema térmico do sensor sem contato (Equação 7), se seguiu a mesma metodologia usada no cálculo da função do sensor com contato. Na Figura 39 apresenta-se o procedimento de simulação realizado para obter os valores dos parâmetros que melhor descrevem a curva de resposta.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau s + 1} = \frac{6.5e^{-2s}}{70s + 1} \quad [7]$$



**Figura 39. Esquema do cálculo da função de transferência para o sensor sem contato**

A partir das funções de transferência calculadas para os dois sensores, observa-se que o tempo de atraso do sensor com contato é maior, representando um maior tempo de resposta à alteração da temperatura. Igualmente pode se apreciar que o valor da constante de tempo da função de transferência do sensor sem contato é quase a metade da constante da função do sensor com contato, conduzindo a uma resposta mais rápida do sistema de medição e, portanto a um dispositivo mais sensível.

## 5.6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos, pode se concluir que a velocidade do ar e sua variação presente na câmara ao redor do ovo, não interferem nas leituras dos sensores usados nos testes. Igualmente é importante assinalar que a temperatura do ambiente circundante ao ovo influencia diretamente a leitura dos dois tipos de sensores de temperatura; essa influência está caracterizada por um maior distanciamento do valor medido respeito ao valor verdadeiro e na diminuição da exatidão.

O sensor com contato nas condições testadas apresenta maior exatidão que o sensor sem contato e descreve melhor o comportamento térmico do ovo no decorrer do tempo.

O ensaio realizado para condições de regime permanente demonstra que o sensor sem contato, registra um erro constante bastante grande quando comparado ao valor da faixa de temperatura ótima de incubação assumida ( $37.5^{\circ}\text{C} - 37.8^{\circ}\text{C}$ ). Apresenta-se então, a diminuição significativa da exatidão da medição deste sensor e, portanto um aumento na incerteza da medida.

Com a realização deste trabalho verificou-se que a dinâmica térmica do ovo é lenta, precisando para a medição da sua temperatura de um sensor cujas características dinâmicas sejam similares.

Apartir dos ensaios realizados e das funções de transferência calculadas foi verificado que o tempo de atraso do sensor com contato é maior que o do sensor sem contato, permitindo a medição da temperatura do ovo com maior exatidão.

## **6. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO**

O dispositivo de medição de temperatura de sensores com contato desenvolvido além de ser uma boa ferramenta para medir com alta exatidão a temperatura do embrião, pode ser usado como um instrumento que ajude na calibração de outros dispositivos de medição de temperatura e na busca de tecnologias apropriadas e fáceis de usar dentro da incubadora.

Os ensaios realizados da medição de temperatura demonstram que o sensor com contato consegue descrever em tempo real a temperatura interna do ovo e a sua reação às diversas alterações da temperatura ambiente.

O sensor sem contato (infravermelho), usado em medições de temperatura de ovos, deve ser cuidadosamente selecionado e testado, procurando obter leituras próximas das reais em qualquer condição da incubação; sendo importante estudar profundamente o seu desempenho dentro da máquina em função do ambiente confinado.

Na busca de sistemas para a medição de temperatura de ovos, é sugerido que sejam desenvolvidos e aprofundados estudos dos sensores a ser usados, com a finalidade de verificar o seu funcionamento em função das alterações da temperatura do ambiente dentro da máquina. Igualmente é sugerida a realização de pesquisas posteriores com sensores com contato e sua ênfase ao uso de tecnologias sem fio que facilitem a operacionalidade dentro da incubadora e a sua melhor utilização nos processos de incubação.

O uso do dispositivo de medição de temperatura com contato em trabalhos futuros, pode ajudar na identificação da influência da posição do ovo dentro da máquina na sua temperatura e no seu comportamento térmico durante os dias da incubação.

A partir deste trabalho foi identificado que a dinâmica do sistema térmico do ovo é muito lenta; sendo necessário o uso de sensores cuja dinâmica seja similar à do ovo e possa descrever adequadamente as alterações da temperatura do embrião.

Na literatura existente, é observado que os sensores sem contato mais usados na atualidade dentro das incubadoras, são adaptações de sensores infravermelhos desenvolvidos para a medição da temperatura corporal nos seres humanos. É também concebido que o fabricante destes sensores garante a sua exatidão e precisão para medição da temperatura corporal no canal auditivo, sendo desta forma desconhecido e questionado seu desempenho na medição da temperatura do ovo no ambiente dentro da incubadora.

O desenvolvimento de sistemas de instrumentação para medição de pesagem permite esclarecer o comportamento desta variável que ainda era desconhecida. A partir da medição da perda de massa é possível observar e deduzir parâmetros que determinam essa perda, tal como a taxa de produção de calor latente do embrião e a troca de gases.

A partir da medição da quantidade de água evaporada pode-se estabelecer se o pintainho ainda dentro da casca tem pouca ou excessiva perda de umidade, podendo antes do seu nascimento, exercer atividades que consigam ajustar aquela perda aos valores adequados e evitar a sua mortalidade.

O sistema de pesagem permite esclarecer questionamentos sobre o valor da taxa de perda diária de massa no ovo, e seu possível comportamento não linear.

O sistema de medição de massa junto com o sistema de medição de temperatura são parte determinante nos principais objetivos do processo de incubação, sendo desta forma necessária a instalação de sistemas de instrumentação que independente do tipo de sensor, sejam capazes de registrar estas grandezas nas máquinas incubadoras e cujas respostas garantem o erro mínimo das leituras do valor indicado frente ao valor verdadeiro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDOLFATO, R. P.; CAMACHO, J. S.; BRITO, G. A. de. **Extensometria Básica**. Ilha Solteira: Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural Nepae/unesp, 2004. 46 p. Disponível em: <[www.nepae.feis.unesp.br](http://www.nepae.feis.unesp.br)>. Acesso em: 12 agosto. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8197** – Instrumentos de Medição de Força de uso geral – Aferição.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10583** – Células de carga (Transdutores de Força) – Terminologia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10584** – Células de Carga (Transdutores de Força) – Determinação das características de Desempenho – Método de ensaio.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12550** – Termometria – Terminologia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGO (ABEF). Disponível em: [http://www.abef.com.br/Relatorios\\_Anuais.asp](http://www.abef.com.br/Relatorios_Anuais.asp). Acessado em 04 de Agosto de 2008.

BANNISTER, B.r.; WHITEHEAD, D.g.. **Instrumentation: Transducers and Interfacing**. London: Chapman And Hall, 1991. 154 p.

BRINSEA. **Incubation Handbook**. Disponível em: [http://www.brinsea.com/pdffiles/Brinsea\\_Handbook.pdf](http://www.brinsea.com/pdffiles/Brinsea_Handbook.pdf) Acessado em 12 de Setembro de 2007.

BRUZUAL, J. J., PEAK, S. D., BRAKE, J., PEEBLES, E. D. Effects of Relative Humidity During Incubation on Hatchability and Body Weight of Broiler Chicks from Young Breeder Flocks. **Poultry Science Association**. v.79 p. 827–830. 2000.

BURTON, F. G.; STEVENSON, J. M.; TULLET, S.G. The Relationship between eggshell porosity and air space gas tensions measured before and during the parafetal period and their effects on the hatching process in the domestic-fowl. **Respiration And Physiology**, [s.l], v. 77, p.89-99, 1989.

CALIL, T. A. C. Princípios básicos de incubação. Em: Conferência APINCO 2007. Santos. **Anais Simpósio sobre Incubação. Palestras do Temário Geral**. São Paulo: Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas. p. 19 – 45. 2007.

CALLEJO, R. A. **Manejo del huevo en la incubadora**. Disponível em: <[http://gea.gate.upm.es/produccion-animal/produccion-avicola/contenidos/TEMA\\_7.\\_INCUBACION/7-2-manejo-del-huevo-en-la-incubadora/view](http://gea.gate.upm.es/produccion-animal/produccion-avicola/contenidos/TEMA_7._INCUBACION/7-2-manejo-del-huevo-en-la-incubadora/view)>. Acessado em: 24 de setembro 2007.

DALLY, J.; RILEY, W.; McCONNELL, K. **Instrumentation for Engineering Measurements**. 2 ed.. Canada Wiley. 584 p. 1993.

DA SILVA, G. V. M., **Instrumentação Industrial** – Edição Eletrônica. Ed. FXS. Gestão de Marketing Ltda. 740 p. Lisboa. Portugal. 2005.

DECUYPERE, E.; BUYSE, J.; BUYS, N. Ascites in broiler chickens: exogenous and endogenous structural and functional causal factors. **World's Poultry Science Journal**, v.56, n.4, p.367-377, 2000.

ELIBOL, O. BRAKET, J. Effect of egg turning angle and frequency during incubation on hatchability and incidence of unhatched broiler embryos with head in the small end of the egg. **Poultry Science Association**. v: 85 p. 1433 – 1437. Ankara. Turquia. 2006.

FRANÇA, F. A. **Instrumentação e Medidas: grandezas mecânicas**, Faculdade de Engenharia Mecânica. FEM UNICAMP 2007.

FIGLIOLA, R.S.; BEASLEY, D. E. **Theory and Design for Mechanical Measurements** . 3. ed. New York: Wiley. 536 p. 2000.

FRENCH. N. A. Modeling Incubation Temperature: The effects of incubator design, embryonic development, and egg size. **Poultry Science**, United Kingdom, v. 76, p.124-133, 1997.

GIL, R. A. A , FERNANDEZ DE CASTRO A.,CORONEL C. I., MARTINEZ R. A. VELARDE-SOSA E. **Diseño y construcción de equipo de medición y procesamiento multicanal de ensayos extensométricos dinámicos**. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, La Habana, v. 15, n. 4, p.59-63, 2006.

GUÍA DE INCUBACIÓN. 15p. Disponível em: [http://intercentres.cult.gva.es/intercentres/03000710/guia\\_incubacion.pdf](http://intercentres.cult.gva.es/intercentres/03000710/guia_incubacion.pdf). Acessado em: 09 Setembro de 2007.

HERMANN, K. P.; NEUBERT, P. **Strain Gauges: Kinds and Uses**. Great Britain: St. Martin's Press. 164 p. 1967.

HILL, D. **Perdas no desempenho: Incubação e Aquecimento. Pontos críticos e práticos de manejo**. Em: **5º Simpósio Técnico de Incubação, Matrizes de Corte e Nutrição...** Balneário Camboriú, Santa Catarina. Anais. p. 72 – 83. 2004.

HULET, R.; GLADYS, G.; HILL, D.; MEIJERHOF, R.; EL-SHIEKH, T. Influence of Egg Shell Embryonic Incubation Temperature and Broiler Breeder Flock Age on Posthatch Growth Performance and Carcass Characteristics. **Poultry Science Association**. p. 86:408–412. 2007.

ISO VIM. **Vocabulário internacional de termos básicos e genéricos em metrologia**. Tradução livre de Marco Antônio Ribeiro. 3ª. Edição. Salvador Bahia. Brasil. 2004.

JOSEPH, N. S.; LOURENS, A.; MORAN Jr. E. T... The effects of suboptimal eggshell temperature during incubation on broiler chick quality, live performance, and further processing yield. **Poultry Science Association**. (v 85), p. 932 – 938. 2006.

KASHKIN, V. Heat exchange of bird eggs during incubation. **Biophysica**. v. 6 p. 97 – 107. 1961.

LOKHORST, W., ROMIJN C. Some preliminary observations on barometric pressure and incubation. **Energy Metabolism**. p. 419–422 K. L. Blaxter, ed. Acad. Press, London, UK. 1965.

LOURENS, A.;VAN DEN BRAND, H.; MEIJERHOF, R.; KEMP, B.. Effect of Eggshell Temperature During Incubation on Embryo Development, Hatchability, and Posthatch Development. **Poultry Science Association**, Netherlands, v. 84, p.914-920, 2005.

LOURENS, A., MOLENAAR, R., VAN DEN BRAND, H., HEETKAMP, M. J. W., MEIJERHOF, R. KEMP, B. Effect of Egg Size on Heat Production and the Transition of Energy from Egg to Hatchling. **Poultry Science Association** n. 85. p. 770–776. 2006a.

LOURENS, A.; VAN DEN BRAND, H.; HEETKAMP, M. J. W.; MEIJERHOF, R. KEMP, B.. Metabolic Responses of chick embryos to short-temp temperature fluctuations. **Poultry Science Association**. n. 85 p. 1081 – 1086. 2006b.

LOURENS, A.;VAN DEN BRAND, H.; HEETKAMP, M. J. W.;; MEIJERHOF, R.; KEMP, B. Effects of Eggshell Temperature and Oxygen Concentration on Embryo Growth and Metabolism During Incubation. **Poultry Science Association**. (v. 86), p. 2194–2199. 2007.

LUNDY, H. A review of the effects of temperature, humidity, turning and gaseous environment in the incubator on hatchability of hen's eggs. ed. Oliver and Boyd, Edinburgh, Scotland, UK. p 143–176. 1969.

MACARI, M.; GONZALES, E. **Manejo de Incubação**. São Paulo. FACTA. 537p. 2003.

MEIJERHOF, R., VAN BEEK, G. Mathematical modelling of temperature and moisture loss of hatching eggs. **Journal of Theoretical. Biology**. v. 165p. 27–41. 1993

MEIJERHOF, R. **Physical parameters in incubation**. Hybro Hatch College, Penn State University, 2007.

NARUSHIN, V.G. Egg Geometry Calculation Using the Measurements of Length and Breadth. **Poultry Science Association**. v. 84. p. 482–484. 2005.

NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. **Temperature Sensor Handbook**. 28p. Disponível em: <http://www.national.com/appinfo/tempsensors/files/temphb2.pdf>. Acessado em: 03 Maio de 2008.

NEVES, A. C. R. S. Maximização do Fluxo operacional em incubatórios comerciais. **VII Simpósio Goiano de Avicultura e II Simpósio Goiano de Suinocultura**. Goias, p. 46 – 53. 2005.

NORTH, M. O., BELL D. D. **Commercial Chicken Production Manual**. 4th ed. Van Nostrand Reinhold, New York, NY. 1990.

NORTHROP, R. B. **Introduction to Instrumentation and measurements**. New York. CRC Press. 518 p. 1997.

PETERSON, R. G., **Design and analysis of experiments**. Marcel Dekker, New York, 1985.

PIAIA, J. L. **Aplicação da Inteligência Artificial no Monitoramento do processo de incubação.** 90p. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005.

POKORNI, S. Error analysis of surface temperature measurement by infrared sensor. **International Journal of Infrared and Millimeter Waves**, State Union of Serbia and Monte Negro Vo. 25,,n 10. p 11. 2004.

REGAZZI, R. D.; PEREIRA, P. S.; SILVA JR, M.F. **Soluções Práticas de instrumentação e automação – Utilizando a programação Gráfica LabVIEW.** Rio de Janeiro: (s.n). 456 p. 2005.

ROBERTSON, I. S. Studies in the effect of humidity on the hatchability of hen's eggs. I. The determination of optimum humidity for incubation. **Journal for Agricultural Science.** v. 57. p. 185–194. 1961.

ROMANOFF, A. L. **The Avian Embryo.** New York: Macmillan. 1960.

ROMANOFF, A. L., ROMANOFF, A. J. **The Avian Egg.** New York, N.Y.: John Wiley & Sons. 1949.

ROMIJN, C. LOKHORST, W. Foetal Heat Production in the fowl. **The Journal of Physiology.** n 150. p. 239-249. Great Britain. 1960.

SABLIOV, M.; FARKAS, B. E.; KEENER, K. M.; CURTIS, P. A. Cooling of Shell Eggs with Cryogenic Carbon Dioxide: a Finite Element Analysis of Heat Transfer. **Elsevier Science Ltd.** v. 35. p. 568–574. 2002.

SOTHERLAND, P. R., SPOTILA J. R.,PAGANELLI, C. V. Avian eggs: Barriers to the exchange of heat and mass. **Journal of. Experimental Zoology.** Suppl. v. 1 p. 81–86. 1987.

SPELLS, K. E. The Thermal Conductivities of Some Biological Fluids. **Physics in Medicine and Biology**. v. 5 p. 139-153 1960.

TAZAWA, H., NAKAGAWA, S. Response of egg temperature, heart rate and blood pressure in the chick embryo to hypothermal stress. **Journal of Comparative Physiology**. 155B: 195–200. 1985.

TONA, K., ONAGBESAN O., BRUGGEMAN V., MERTENS K., DECUYPERE E. Effects of Turning Duration During Incubation on Embryo Growth, Utilization of Albumen, and Stress Regulation. **Poultry Science Association**. v. 84. p. 315 – 320. 2005.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA (UBA). Disponível em [http://www.uba.org.br/ubanews\\_dezembro\\_07.php](http://www.uba.org.br/ubanews_dezembro_07.php) Acessado em 03 de Agosto de 2008.

VAN BRECHT, A.; AERTS, J.M.; JANSSENS, K.; CHEDAD, A.; BERCKMANS, D. Egg Shell Temperature as an Indicator for Embryonic Response. **The society for engineering in agricultural, food and biological systems. ASABE**. n. 01-4034. Sacramento, California, USA. 2001.

VAN BRECHT, A.; AERTS, J. M.; DEGRAEVE, P.; BERCKMANS, D. Quantification and Control of the spatiotemporal gradients of air speed and air temperature in an incubator. **Poultry Science Association**. Bélgica. v. 82, p 1677-1687. 2003.

VAN BRECHT, A.; HENS, H.; LEMAIRE, J.L.; AERTS, J. M.; DEGRAEVE, P.; BERCKMANS, D. Quantification of the heat exchange of chicken eggs. **Poultry Science Association**. Bélgica. v. 84, p 353-361. 2005.

VAN GOLDE, J. BORM, J. P. WOLFS, M. GERVER W. BLANCO C. E. The effect of hyperoxia on embryonic and organ mass in the developing chick embryo. **Respiratory Physiology**. v. 113 p.75–82. 1998.

VISSCHEDIJK, A. H. J. Physics and physiology of incubation. **Poultry Science Association**, [s.l], v. 32. p.3-20, 1991.

WHEELER, A.; GANJI, A. **Introduction to engineering experimentation**. 2 ed.. New Jersey. Pearson Prentice Hall. 452 p. 2004.

WHITTOW, G. C., TAZAWA H. The early development of thermoregulation in birds. **Physiol. Zool.** 64:1371–1390. 1991.

WILSON, H. R. Physiological requirements of the developing embryo: Temperature and turning. p 145–156. **Avian Incubation**. S. G. Tullett, ed. Butterworth-Heinemann, London. 1991

## 8. APÊNDICE

### Resultados da calibração estática e cálculo das características estáticas dos sensores de contato LM-50

FAIXA ÚTIL (35°C - 40°C)														
SENSOR 1												Utilizando a Eq. De Calibração		
Temperatura Referência	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Méd. Geral	Histerese	Não Lin.	Repetitividade	Erro Comb.	Temperatura Calculada	Erro  Valor Absoluto	Exatidão
[°C]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]
35,00	0,85763	0,85722	0,85687	0,85754	0,85647	0,85743	0,85719	0,17	0,05	0,21	0,43	34,99	0,01	99,96
35,50	0,86219	0,86275	0,86195	0,86293	0,86299	0,86202	0,86247	0,18	0,11	0,19	0,47	35,51	0,01	99,97
36,00	0,86769	0,86684	0,86802	0,86732	0,86808	0,86726	0,86753	0,15	0,12	0,09	0,36	36,01	0,01	99,96
36,50	0,87231	0,87231	0,87265	0,87302	0,87143	0,87212	0,87231	0,12	0,04	0,22	0,38	36,49	0,01	99,97
37,00	0,87723	0,87710	0,87800	0,87704	0,87745	0,87744	0,87738	0,17	0,10	0,14	0,41	36,99	0,01	99,98
37,50	0,88218	0,88200	0,88352	0,88314	0,88261	0,88192	0,88256	0,12	0,18	0,24	0,55	37,51	0,01	99,98
38,00	0,88761	0,88760	0,88764	0,88772	0,88721	0,88807	0,88764	0,15	0,02	0,08	0,26	38,01	0,01	99,97
38,50	0,89268	0,89218	0,89270	0,89257	0,89167	0,89315	0,89249	0,27	0,03	0,19	0,48	38,49	0,01	99,98
39,00	0,89743	0,89740	0,89767	0,89761	0,89736	0,89820	0,89761	0,15	0,02	0,14	0,31	39,00	0,00	99,99
39,50	0,90243	0,90261	0,90245	0,90307	0,90295	0,90274	0,90271	0,11	0,06	0,09	0,27	39,51	0,01	99,98
40,00	0,90752	0,90752	0,90751	0,90751	0,90746	0,90746	0,90749	0,00	0,02	0,01	0,03	39,99	0,01	99,96

		Equação de Calibração	
Histerese	=	0,27 [%]	
Não-Linearidade	=	0,18 [%]	
Repetitividade	=	0,24 [%]	
<b>Máx Erro Total Comb</b>		<b>0,55 [%]</b>	
		<b>Temp. Calculada [°C] = 99,3943 x leitura [V] + -50,2144</b>	

SENSOR 2												Utizando a Eq. De Calibração		
Temperatura Referência	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Méd. Geral	Histerese	Não Lin.	Repetitividade	Erro Comb.	Temperatura calculada	Erro [Valor Absoluto]	Exatidão
[°C]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]
35,00	0,85986	0,86015	0,85981	0,86047	0,85956	0,86028	0,86002	0,13	0,04	0,06	0,23	34,99	0,008	99,98
35,50	0,86537	0,86458	0,86552	0,86490	0,86474	0,86540	0,86508	0,14	0,07	0,15	0,36	35,50	0,002	99,99
36,00	0,86969	0,87023	0,87087	0,87016	0,87008	0,86996	0,87016	0,13	0,14	0,21	0,48	36,01	0,006	99,98
36,50	0,87447	0,87518	0,87553	0,87562	0,87523	0,87496	0,87517	0,13	0,08	0,19	0,39	36,51	0,007	99,98
37,00	0,87962	0,87989	0,88101	0,87949	0,87935	0,88051	0,87998	0,27	0,16	0,30	0,73	36,99	0,012	99,97
37,50	0,88477	0,88504	0,88625	0,88515	0,88500	0,88482	0,88517	0,20	0,21	0,26	0,67	37,51	0,008	99,98
38,00	0,88989	0,89034	0,88971	0,89100	0,88984	0,89090	0,89028	0,23	0,04	0,12	0,38	38,02	0,019	99,95
38,50	0,89481	0,89489	0,89507	0,89576	0,89407	0,89576	0,89506	0,30	0,00	0,18	0,49	38,50	0,003	99,99
39,00	0,89953	0,89954	0,89990	0,89991	0,89987	0,90051	0,89988	0,11	0,03	0,17	0,32	38,98	0,021	99,95
39,50	0,90493	0,90439	0,90528	0,90585	0,90547	0,90506	0,90516	0,10	0,07	0,26	0,43	39,51	0,008	99,98
40,00	0,91003	0,91003	0,91024	0,91024	0,90991	0,90991	0,91006	0,00	0,03	0,06	0,09	40,00	0,002	99,99

		Equação de Calibração			
				Coefficiente Angular	100,044
Histerese	=	0,30	[%]	Intercepção (b)	-51,048
Não-Linearidade	=	0,21	[%]	Correlação	1,000
Repetitividade	=	0,30	[%]		
<b>Máx Erro Total Comb</b>		<b>0,73</b>	<b>[%]</b>	<b>Temp. Calculada [°C] = 100,0435 x leitura [V] + -51,0479</b>	

SENSOR 3												Utizando a Eq. De Calibração		
Temperatura Referência	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Méd. Geral	Histerese	Não Lin.	Repetitividade	Erro Comb.	Temperatura calculada	Erro  Valor Absoluto	Exatidão
[°C]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]
35,00	0,86237	0,86236	0,86215	0,86216	0,86287	0,86268	0,86243	0,03	0,08	0,13	0,24	35,00	0,00	100,00
35,50	0,86702	0,86675	0,86692	0,86728	0,86756	0,86694	0,86708	0,11	0,03	0,11	0,25	35,47	0,03	99,91
36,00	0,87164	0,87274	0,87250	0,87283	0,87217	0,87261	0,87242	0,19	0,02	0,15	0,37	36,00	0,00	99,99
36,50	0,87663	0,87809	0,87682	0,87813	0,87791	0,87796	0,87759	0,26	0,10	0,23	0,59	36,52	0,02	99,94
37,00	0,88197	0,88253	0,88275	0,88204	0,88127	0,88326	0,88230	0,35	0,07	0,26	0,69	37,00	0,00	99,99
37,50	0,88763	0,88736	0,88814	0,88731	0,88700	0,88727	0,88745	0,15	0,15	0,20	0,49	37,51	0,01	99,97
38,00	0,89195	0,89299	0,89243	0,89313	0,89152	0,89274	0,89246	0,22	0,02	0,16	0,40	38,02	0,02	99,96
38,50	0,89651	0,89659	0,89684	0,89807	0,89760	0,89801	0,89727	0,22	0,06	0,26	0,54	38,50	0,00	100,00
39,00	0,90211	0,90231	0,90222	0,90204	0,90220	0,90268	0,90226	0,08	0,01	0,11	0,21	39,00	0,00	100,00
39,50	0,90707	0,90659	0,90702	0,90744	0,90779	0,90680	0,90712	0,18	0,10	0,15	0,42	39,49	0,01	99,97
40,00	0,91211	0,91211	0,91219	0,91219	0,91224	0,91224	0,91218	0,00	0,00	0,02	0,03	40,00	0,00	99,99

Equação de Calibração			
Histerese	=	0,35 [%]	
Não-Linearidade	=	0,15 [%]	
Repetitividade	=	0,26 [%]	
<b>Máx Erro Total Comb</b>		<b>0,69 [%]</b>	
<b>Temp. Calculada [°C] = 100,3712 x leitura [V] + -51,5617</b>			

SENSOR 4												Utizando a Eq. De Calibração		
Temperatura Referência	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Méd. Geral	Histerese	Não Lin.	Repetitividade	Erro Comb.	Temperatura calculada	Erro  Valor Absoluto	Exatidão
[°C]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]
35,00	0,86142	0,86135	0,86134	0,86126	0,86107	0,86153	0,86133	0,08	0,00	0,06	0,15	34,99	0,01	99,97
35,50	0,86622	0,86651	0,86683	0,86737	0,86716	0,86549	0,86660	0,30	0,13	0,33	0,76	35,52	0,02	99,95
36,00	0,87138	0,87123	0,87127	0,87117	0,87110	0,87141	0,87126	0,06	0,00	0,05	0,11	35,99	0,01	99,96
36,50	0,87620	0,87674	0,87637	0,87667	0,87578	0,87683	0,87643	0,19	0,00	0,11	0,29	36,50	0,00	99,99
37,00	0,88110	0,88099	0,88162	0,88089	0,88153	0,88124	0,88123	0,13	0,04	0,09	0,27	36,99	0,01	99,96
37,50	0,88590	0,88650	0,88709	0,88698	0,88652	0,88604	0,88650	0,11	0,13	0,21	0,45	37,52	0,02	99,96
38,00	0,89192	0,89163	0,89156	0,89168	0,89036	0,89187	0,89150	0,27	0,11	0,28	0,65	38,02	0,02	99,95
38,50	0,89580	0,89579	0,89662	0,89708	0,89613	0,89668	0,89635	0,10	0,06	0,23	0,38	38,50	0,00	99,99
39,00	0,90141	0,90110	0,90137	0,90144	0,90072	0,90117	0,90120	0,08	0,02	0,12	0,23	38,99	0,01	99,98
39,50	0,90593	0,90621	0,90630	0,90615	0,90651	0,90554	0,90611	0,17	0,04	0,12	0,33	39,48	0,02	99,96
40,00	0,91138	0,91138	0,91127	0,91127	0,91122	0,91122	0,91129	0,00	0,02	0,03	0,05	40,00	0,00	99,99

		Equação de Calibração			
				Coefficiente Angular	100,394
Histerese	=	0,30	[%]	Intercepção (b)	-51,484
Não-Linearidade	=	0,13	[%]	Correlação	1,000
Repetitividade	=	0,33	[%]		
<b>Máx Erro Total Comb</b>		<b>0,76</b>	<b>[%]</b>	<b>Temp. Calculada [°C] = 100,3939 x leitura [V] + -51,4837</b>	

SENSOR 5												Utizando a Eq. De Calibração		
Temperatura Referência	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Méd. Geral	Histerese	Não Lin.	Repetitividade	Erro Comb.	Temperatura calculada	Erro [Valor Absoluto]	Exatidão
[°C]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]
35,00	0,86203	0,86432	0,86184	0,86253	0,86132	0,86260	0,86244	0,41	0,03	0,32	0,76	35,02	0,02	99,93
35,50	0,86750	0,86688	0,86718	0,86727	0,86713	0,86662	0,86710	0,11	0,05	0,12	0,28	35,49	0,01	99,97
36,00	0,87237	0,87201	0,87249	0,87197	0,87190	0,87206	0,87214	0,09	0,05	0,10	0,25	35,99	0,01	99,98
36,50	0,87673	0,87714	0,87753	0,87683	0,87624	0,87736	0,87697	0,20	0,06	0,23	0,49	36,48	0,02	99,94
37,00	0,88177	0,88185	0,88347	0,88191	0,88204	0,88162	0,88211	0,28	0,23	0,30	0,81	36,99	0,01	99,98
37,50	0,88677	0,88713	0,88846	0,88767	0,88709	0,88673	0,88731	0,14	0,23	0,30	0,67	37,51	0,01	99,97
38,00	0,89275	0,89269	0,89160	0,89237	0,89136	0,89276	0,89225	0,25	0,10	0,25	0,60	38,01	0,01	99,98
38,50	0,89787	0,89752	0,89818	0,89792	0,89642	0,89731	0,89754	0,16	0,18	0,31	0,65	38,54	0,04	99,91
39,00	0,90194	0,90168	0,90145	0,90252	0,90168	0,90197	0,90187	0,19	0,04	0,15	0,38	38,97	0,03	99,92
39,50	0,90690	0,90654	0,90776	0,90782	0,90762	0,90723	0,90731	0,07	0,10	0,23	0,40	39,51	0,01	99,97
40,00	0,91211	0,91211	0,91194	0,91194	0,91217	0,91217	0,91207	0,00	0,00	0,04	0,04	39,99	0,01	99,97

				Equação de Calibração			
				Coeficiente Angular		100,076	
Histerese	=	0,41	[%]	Intercepção (b)		-51,287	
Não-Linearidade	=	0,23	[%]	Correlação		1,000	
Repetitividade	=	0,32	[%]				
<b>Máx Erro Total Comb</b>		<b>0,81</b>	<b>[%]</b>	<b>Temp. Calculada [°C] = 100,0760 x leitura [V] + -51,2866</b>			



SENSOR 7												Utizando a Eq. De Calibração		
Temperatura Referência	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Ascend.	Descend.	Méd. Geral	Histerese	Não Lin.	Repetitividade	Erro Comb.	Temperatura calculada	Erro  Valor Absoluto	Exatidão
[°C]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]
35,00	0,85975	0,86056	0,86040	0,86013	0,86057	0,86097	0,86040	0,15	0,01	0,15	0,31	34,99	0,01	99,97
35,50	0,86502	0,86543	0,86568	0,86578	0,86560	0,86528	0,86547	0,07	0,03	0,12	0,22	35,49	0,01	99,98
36,00	0,86974	0,87073	0,87084	0,87069	0,87021	0,87082	0,87051	0,18	0,05	0,20	0,43	36,00	0,00	99,99
36,50	0,87537	0,87599	0,87592	0,87585	0,87470	0,87606	0,87565	0,24	0,06	0,22	0,52	36,51	0,01	99,98
37,00	0,87956	0,88043	0,88109	0,88020	0,88033	0,88069	0,88038	0,16	0,09	0,27	0,53	36,98	0,02	99,95
37,50	0,88516	0,88554	0,88653	0,88557	0,88571	0,88557	0,88568	0,17	0,17	0,24	0,58	37,51	0,01	99,98
38,00	0,89070	0,89165	0,89100	0,89178	0,89054	0,89124	0,89115	0,17	0,07	0,10	0,34	38,05	0,05	99,86
38,50	0,89484	0,89532	0,89567	0,89633	0,89627	0,89594	0,89573	0,12	0,12	0,26	0,49	38,51	0,01	99,97
39,00	0,89999	0,90046	0,90085	0,90050	0,90052	0,90083	0,90053	0,08	0,04	0,15	0,28	38,99	0,01	99,97
39,50	0,90461	0,90531	0,90521	0,90580	0,90579	0,90556	0,90538	0,13	0,03	0,21	0,36	39,47	0,03	99,93
40,00	0,91065	0,91065	0,91035	0,91035	0,91075	0,91075	0,91058	0,00	0,02	0,07	0,09	39,99	0,01	99,98

Equação de Calibração			
			Coeficiente Angular 99,696
Histerese =	0,24	[%]	Intercepção -50,790
Não-Linearidade =	0,17	[%]	Correlação 1,000
Repetitividade =	0,27	[%]	
<b>Máx Erro Total Comb</b>	<b>0,58</b>	<b>[%]</b>	<b>Temp. Calculada [°C] = 99,6961 x leitura [V] + -50,7895</b>

### Cálculo do erro sistemático dos sensores de contato LM-50

<i>Temperatura de Referência (Valor verdadeiro)</i>											
<b>Sensor</b>	<b>35</b>	<b>35,5</b>	<b>36</b>	<b>36,5</b>	<b>37</b>	<b>37,5</b>	<b>38</b>	<b>38,5</b>	<b>39</b>	<b>39,5</b>	<b>40</b>
<b>1</b>	34,99	35,51	36,01	36,49	36,99	37,51	38,01	38,49	39,0	39,51	39,99
<b>2</b>	34,99	35,5	36,01	36,51	36,99	37,51	38,02	38,5	38,98	39,51	40,0
<b>3</b>	35,0	35,47	36,0	36,52	37,0	37,51	38,02	38,5	39,0	39,49	40,0
<b>4</b>	34,99	35,52	35,99	36,5	36,99	37,52	38,02	38,5	38,99	39,48	40,0
<b>5</b>	35,02	35,49	35,99	36,48	36,99	37,51	38,01	38,54	38,97	39,51	39,99
<b>6</b>	34,99	35,48	36,01	36,52	36,99	37,51	38,05	38,48	38,98	39,49	40,01
<b>7</b>	34,99	35,49	36,0	36,51	36,98	37,51	38,05	38,51	38,99	39,47	39,99
<b>média</b>	34,99	35,49	36,00	36,50	36,99	37,51	38,02	38,50	38,98	39,49	39,99
<b>(°C)</b>	6	4	1	4	0	1	6	3	7	4	7
<b>erro</b>											
<b>sistemático</b>	-0,004	-0,006	0,001	0,004	-0,010	0,011	0,026	0,003	-0,013	-0,006	-0,003
<b>o (°C)</b>											

**Resultados da calibração estática e cálculo das características estáticas dos sensores de força (células de carga) na faixa útil.**

<b>Faixa Útil - Perda de 15% de massa</b>												<b>Utizando a Eq. De Calibração</b>	
Massa [gf]	Ascend. [gf]	Descend. [gf]	Ascend. [gf]	Descend. [gf]	Ascend. [gf]	Descend. [gf]	Méd. Geral [gf]	Histerese [%]	Não Lin [%]	Repetit. [%]	Erro Comb. [%]	Massa Calculado	Erro [gf]
12.005	11.999	11.983	11.978	11.969	11.969	11.954	11.975,3	0,09	0,46	0,21	0,77	12.005,0	0
12.131	12.125	12.110	12.105	12.096	12.096	12.081	12.102,2	0,09	0,46	0,21	0,76	12.130,6	0
12.266	12.263	12.247	12.243	12.233	12.233	12.218	12.239,5	0,10	0,44	0,21	0,75	12.266,7	-1
12.392	12.388	12.373	12.369	12.359	12.359	12.344	12.365,3	0,09	0,45	0,21	0,75	12.391,3	1
12.533	12.531	12.516	12.513	12.502	12.503	12.487	12.508,7	0,10	0,43	0,21	0,74	12.533,3	0
12.664	12.663	12.649	12.645	12.634	12.635	12.620	12.641,0	0,09	0,43	0,21	0,73	12.664,4	0
12.787	12.787	12.773	12.768	12.758	12.759	12.744	12.764,8	0,09	0,43	0,21	0,73	12.787,1	0
12.922	12.922	12.910	12.906	12.894	12.895	12.880	12.901,2	0,09	0,42	0,21	0,73	12.922,1	0
13.054	13.056	13.043	13.038	13.027	13.027	13.014	13.034,2	0,09	0,42	0,21	0,71	13.053,9	0
13.185	13.186	13.175	13.170	13.159	13.159	13.145	13.165,7	0,09	0,42	0,21	0,72	13.184,1	1
13.315	13.317	13.308	13.303	13.292	13.292	13.278	13.298,3	0,08	0,41	0,21	0,70	13.315,6	-1
13.446	13.447	13.439	13.434	13.423	13.422	13.409	13.429,0	0,08	0,42	0,21	0,70	13.445,0	1
13.579	13.582	13.575	13.569	13.559	13.557	13.545	13.564,5	0,07	0,41	0,21	0,69	13.579,2	0
13.712	13.717	13.710	13.704	13.694	13.691	13.680	13.699,3	0,07	0,40	0,21	0,68	13.712,8	-1
13.850	13.855	13.850	13.841	13.834	13.827	13.819	13.837,7	0,05	0,41	0,22	0,67	13.849,9	0
13.980	13.987	13.984	13.973	13.968	13.960	13.952	13.970,7	0,04	0,39	0,23	0,66	13.981,6	-2
14.111	14.116	14.116	14.099	14.099	14.084	14.084	14.099,7	0,00	0,43	0,23	0,66	14.109,4	2