

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MICROCONTROLADO DE MONITORAÇÃO DA TEMPERATURA E AVALIAÇÃO DO IMPLANTE DO ELEMENTO SENSOR DIGITAL EM BOVINOS

ALDO IVAN CÉSPEDES ARCE,¹ ANA CAROLINA DE SOUSA SILVA,² FERNANDO JOSÉ SCHALCH,³
EVALDO ANTONIO LENCIONI TITTO⁴ E ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA^{*5}

1. Mestrando em Zootecnia. FZEA-USP. E-mail: acaid@usp.br

2. Doutoranda em Zootecnia. FZEA-USP. E-mail: anac_ss@yahoo.com.br

3. Médico Veterinário – Divisão Zootécnica, Prefeitura do Campus da USP de Pirassununga (PCAPS -USP)

4. Associado, professor do Departamento de Zootecnia – FZEA/USP. E-mail: titto@usp.br

5*Associado, professor do Departamento de Ciências Básicas – FZEA/USP. E-mail: ernane@usp.br – Autor correspondente

RESUMO

Um sistema completo de instrumentação para monitoração de temperatura é apresentado neste artigo. O sistema foi desenvolvido para auxiliar estudo de estresse térmico em bovinos. Neste equipamento, o elemento sensor pode ser implantado no animal. O equipamento consiste de

tecnologia digital e óptica com capacidade de configuração através de programa de computador. Os resultados obtidos mostram que o sistema desenvolvido é capaz de monitorar a temperatura de bovinos a cada cinco minutos durante trinta dias com resolução de 0.0625 °C.

PALAVRAS-CHAVES: Estresse térmico sensores, óptico, temperatura, transceptor.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A MICROCONTROLLED TEMPERATURE MONITORING SYSTEM AND EVALUATION OF THE SENSOR ELEMENT IMPLANT IN BOVINES

This paper presents a complete system for temperature monitoring. The system was developed to speed up bovine behavior studies under temperature exposure. The equipment uses digital technology with custom setup capability by means of computer program and the sensor can

be implanted in to animal. Results obtained show that the developed system is able to monitor bovine temperatures with a sample rate of five minutes during 30 days with accuracy of 0.0625 °C.

KEY-WORDS: Heat stress sensors, optical, temperature, transceptor.

INTRODUÇÃO

A exportação de produtos de origem animal é uma importante atividade econômica para o Brasil e as necessidades e exigências do mercado internacional tanto em relação à qualidade da car-

ne quanto ao bem-estar do animal são de interesse do sistema produtivo brasileiro.

Há muitos fatores que interferem na produtividade animal, como genética, nutrição e fatores ambientais. Nas condições ambientais brasileiras, a maior preocupação é com o estresse térmico,

uma vez que o desconforto térmico sofrido pelos animais durante períodos de elevadas temperaturas pode resultar em perdas na produção, em virtude da redução da ingestão de alimentos, da redução no ganho de peso e, em casos extremos, até da morte do animal (HAHN, 1999; MADER, 2002; BROWN-BRANDL, 2003). Os produtores necessitam de informações sobre como e por que seus animais respondem aos desafios climáticos, para que possam tomar decisões, estabelecer estratégias de atuação e táticas para reduzir as perdas em períodos de temperatura elevada. Para minimizar essas perdas, são usados muitos índices de estresse ambiental, baseados nas frequências cardíaca e respiratória (BROWN-BRANDL, 2003), bem como nas temperaturas timpânica (HAHN, 1999; MADER, 2002), retal (CARVALHO, 1995) e corporal (LEFCOURT & ADAMS, 1996). Além disso, existem modelos capazes de avaliar e prever o grau de conforto térmico de bovinos (SILVA, 2000).

Um sistema de medida de temperatura com uma capacidade de configuração pelo usuário quanto ao tempo de coleta e com a possibilidade de medição sem interferir no experimento é crucial em pesquisas de tolerância ao calor. Já existe uma pesquisa de desenvolvimento de um sistema microcontrolado de medição de temperatura com tecnologia nacional aplicada a medidas de temperatura do solo (CRUVINEL, 2000), mas a literatura não reporta um sistema aplicado a medidas de temperaturas em bovinos usando a metodologia de sensores digitais microprocessados.

Assim, este artigo apresenta um sistema de medição de temperatura digital microprocessado usando o elemento sensor TMP100 da Texas Instruments (ALBUS, 2002), o qual foi devidamente adaptado para ser implantado na mucosa retal e vaginal de bovinos. Além disso, desenvolveu-se um programa de computador para auxiliar na configuração dos sensores e controlar a aquisição dos dados.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema desenvolvido consiste de dois módulos: o módulo 1, que é uma estação base

fixa; e o módulo 2, que é a eletrônica de coleta embarcada no animal.

O módulo 1 possui um transceptor óptico digital e é conectado a um computador através de uma porta serial usando o protocolo de comunicação RS232. O módulo 1 é capaz de receber dados de um transmissor óptico e possui recursos de *softwares* capazes de programar os módulos de comunicação embarcados nos animais e controlar a aquisição dos dados via uma interface óptica. A Figura 1 mostra um diagrama esquemático do módulo 1.

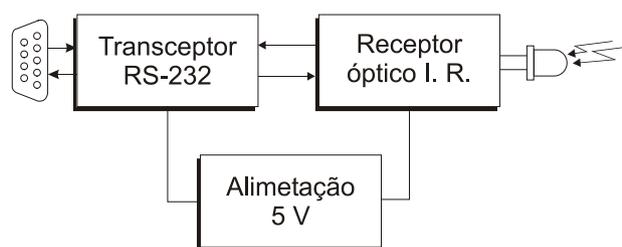


FIGURA 1. Diagrama esquemático do módulo 1.

O módulo 2 consiste de duas etapas operacionais: uma de controle do sensor de temperatura; e outra de armazenamento e transmissão óptica dos dados. Os dados coletados no módulo 2 são armazenados durante todo o experimento e, através de uma interface óptica, são transmitidos para o módulo 1. O módulo 2 opera com duas baterias tipo *button* e as dimensões da placa de circuito impresso são de 6 mm x 30 mm. Incluindo as baterias e o invólucro, o módulo 2 tem 10mm de altura, 30mm de largura e 50mm de comprimento. A Figura 2 mostra um diagrama esquemático do módulo 2.

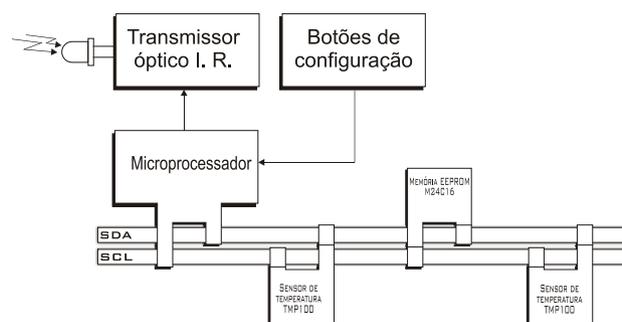


FIGURA 2. Diagrama esquemático do módulo 2.

O sensor de temperatura TMP100 fabricado pela Texas Instruments® é um integrado com 1,5mm de largura por 3mm de comprimento (Figura 3), que opera na faixa de -55°C a 125°C. A comunicação entre esse dispositivo e a eletrônica que o controla é feita através de um protocolo de comunicação denominado I2C. Com uma resolução programável de 9 a 12 bits (0.5°C a 0.0625°C), encapsulamento reduzido e baixo custo, é amplamente utilizado em instrumentação.

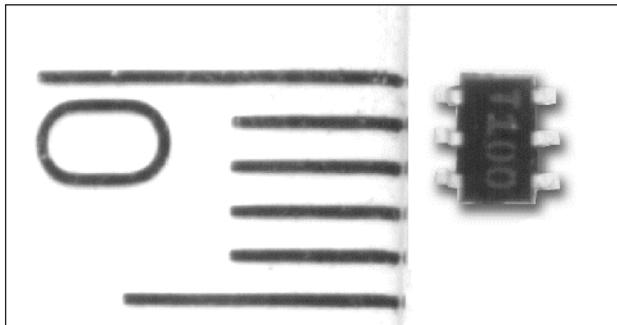


FIGURA 3. Ilustração do elemento sensor TMP100.

O acesso ao dispositivo é feito através de um endereço de 8 bits, sendo que 3 bits desse endereço são configurados fisicamente através dos pinos ADD0 e ADD1 do integrado e o oitavo bit define o tipo de acesso a ser efetuado (R/W “0” para escrita “1” para leitura). A Figura 4 mostra a tabela de configuração dos bits e um diagrama esquemático do TMP100.

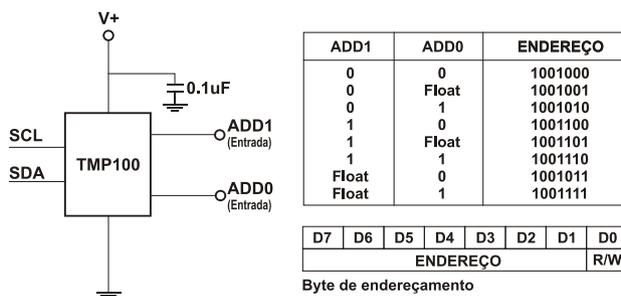


FIGURA 4. Diagrama esquemático do TMP100 mostrando os endereços de configuração.

O TMP100 trabalha com uma estrutura de registradores que permite acessar suas funções conforme mostrado na Figura 5.

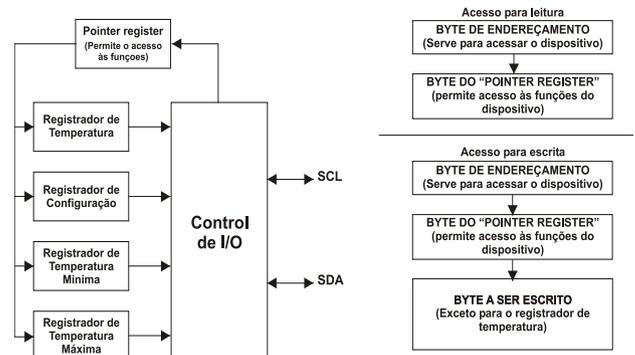


FIGURA 5. Estrutura de registradores do TMP100.

Configuração da resolução e leitura da temperatura do sensor

O sensor TMP100 é automaticamente calibrado já durante a sua fabricação nas diversas faixas de resolução de temperatura. Se nenhuma configuração for feita, o sensor TMP100 opera com a resolução padrão de 9 bits, mas pode ser programado para trabalhar com até 12 bits de precisão, sendo que nessa configuração a resolução da temperatura será de 0.0625°C. Para isso, é necessário apenas acessar o registrador de configuração e escrever o novo byte. O 6º e 7º bits de configuração correspondem à resolução do sensor e podem ser combinados conforme mostrado na Figura 6.

R1	R0	RESOLUÇÃO	TEMPO DE CONVERSÃO
0	0	9 Bits (0.5 °C)	40 ms
0	1	10 Bits (0.25°C)	80 ms
1	0	11 Bits (0.125°C)	160 ms
1	1	12 Bits (0.0625°C)	320 ms

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OSALERT	R1	R0	F1	F0	POL	TM	SD

Byte de configuração

FIGURA 6. Bits de configuração da resolução do sensor.

A leitura do sensor é feita através do registrador de temperatura no TMP100, que é um registrador de 12 bits de acesso exclusivamente para leitura. Para obtenção da última temperatura armazenada no registrador, devem ser lidos dois bytes. Os primeiros 12 bits correspondem à última conversão de temperatura armazenada no registrador.

Comunicação entre o TMP100 e a eletrônica de controle desenvolvida

Nos modernos sistemas eletrônicos existe a necessidade de compartilhar dados, tanto entre os circuitos integrados quanto com o ambiente externo. Para maximizar a eficiência desses sistemas e simplificar seu projeto, a Philips desenvolveu o “Inter Integrated Communication” – I2C (Vari-tronix, 2000), um protocolo síncrono que suporta endereçamento de dispositivos e utiliza um barramento bidirecional simples de duas linhas (Linha de *clock* ou SCL e linha de dados ou SDA). Isso significa que vários circuitos integrados ligados ao mesmo barramento podem se comunicar utilizando este protocolo.

O barramento I2C suporta uma ampla gama de componentes compatíveis com I2C (Figura 7).

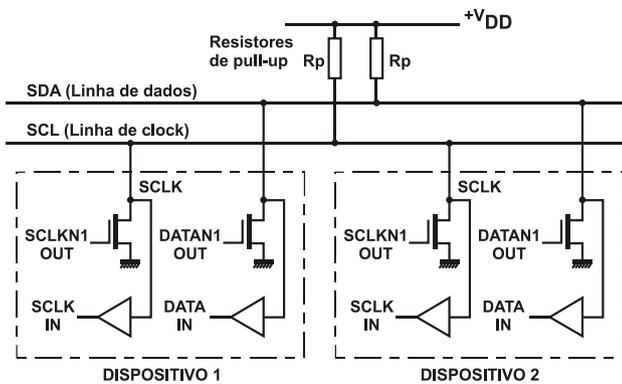


FIGURA 7. Barramento I2C com dois dispositivos conectados.

Cada dispositivo é reconhecido por um único endereço e pode receber e transmitir dados. Dependendo da sua forma de trabalho, existem dois modos de operação: o modo mestre e o modo escravo. No modo mestre, o dispositivo inicia a transferência de dados e gera o sinal de sincronismo (*clock*). No modo escravo, o dispositivo é endereçado e fica dependendo do sinal de *clock* enviado pelo dispositivo mestre.

No mesmo barramento, podem existir mais de um dispositivo operando como mestre (*mul-*

timastering), e o protocolo garante ausência de erros causados pela colisão de dados. O número máximo de dispositivos ligados ao barramento é limitado pela capacitância máxima admitida, que é de 400 pF.

Inicialmente, o protocolo I2C suportava velocidade de até 100kbps e 7 bits de endereçamento (hoje conhecido como modo *standard*). Atualmente suporta velocidades superiores a 400Kbps operando em modo “rápido” e velocidades superiores a 3,4 Mbps operando em modo “muito rápido”. O endereçamento também foi incrementado para 10 bits, a fim de aumentar o número de endereços disponíveis.

O sensor de temperatura desenvolvido usa o protocolo de comunicação I2C, controlado por um microprocessador PIC12F675 da Microchip®. A Figura 8 mostra o esquema elétrico do módulo 2.

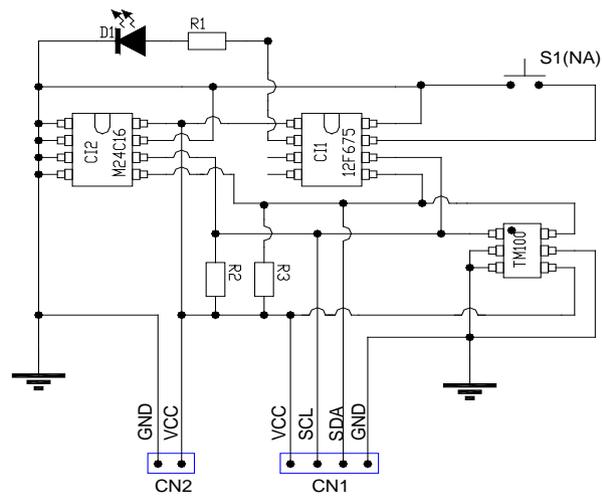


FIGURA 8. Esquema elétrico do módulo 2.

A comunicação entre o módulo 2 e o módulo 1 é realizada através de um sistema óptico, controlado também pelo microprocessador PIC12F675, conforme aparece na Figura 8. Na Figura 9, aparece a placa de circuito impresso do módulo 2.

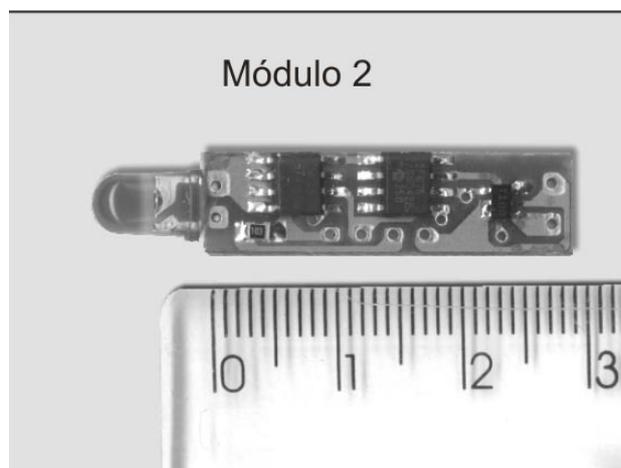


FIGURA 9. Placa de circuito impresso do módulo 2.

Experimentação animal

O sistema foi testado durante três meses com o sensor implantado na mucosa vaginal de seis novilhas da raça holandesa. Durante a experimentação animal, avaliaram-se algumas situações de uso do equipamento, tais como exposição às intempéries, duração do implante e estabilidade do sensor. Somente o elemento sensor TMP100 é implantado na mucosa, sendo que a implantação foi feita no máximo três vezes em cada animal. O restante do módulo é fixado no dorso do animal. A Figura 10 mostra o momento do implante do elemento sensor em uma das novilhas.



FIGURA 10. Ilustração do implante do elemento sensor na mucosa vaginal do bovino.

Alocaram-se os animais em um piquete experimental medindo 50 m de largura por 200 m de comprimento. O equipamento foi calibrado para fazer uma medida da temperatura a cada cinco minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 11 aparece a correlação entre o sistema desenvolvido e um termômetro-padrão (termômetro clínico de bulbo). O termômetro clínico de bulbo foi escolhido como padrão, por ser comumente usado para coletar temperatura retal e vaginal de bovinos. Entretanto, essa comparação é necessariamente qualitativa, uma vez que tanto a resposta ao impulso do sensor de bulbo, ou seja, o tempo que ele demora para estabilizar, quanto o erro de leitura de sua escala diferem do sensor TMP100. Para efeitos de comparação, a precisão do sensor de bulbo é de aproximadamente $0,1 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$, enquanto que o TMP100 tem uma precisão de $0,0625 \pm 0,0025^{\circ}\text{C}$. Mesmo assim, na faixa de temperatura de interesse para a experimentação animal, a correlação entre os dois sensores foi satisfatória, conforme mostra a Figura 11, em que o sensor desenvolvido mediu as mesmas temperaturas que o termômetro-padrão.

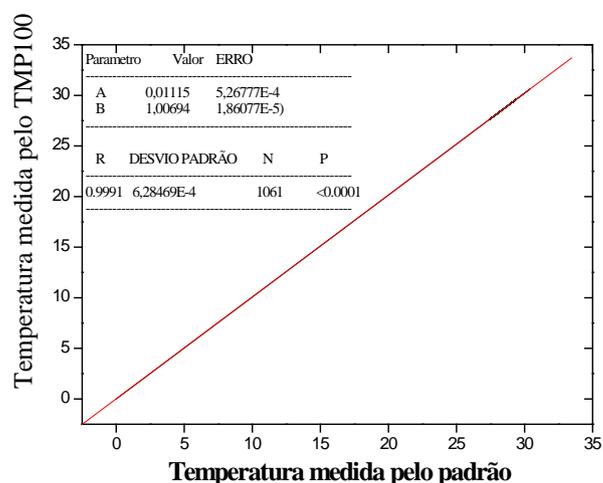


FIGURA 11. Correlação entre a temperatura medida pelo TMP100 e um termômetro-padrão.

Na Figura 12 constam os resultados de medidas de temperatura em um dos bovinos usado para teste. No período das medidas, a temperatura média do ambiente foi de 29,50°C, sendo a máxima de 34,00°C, ocorrida às 12:00h, e a mínima de 22,00°C, ocorrida às 7:12h.

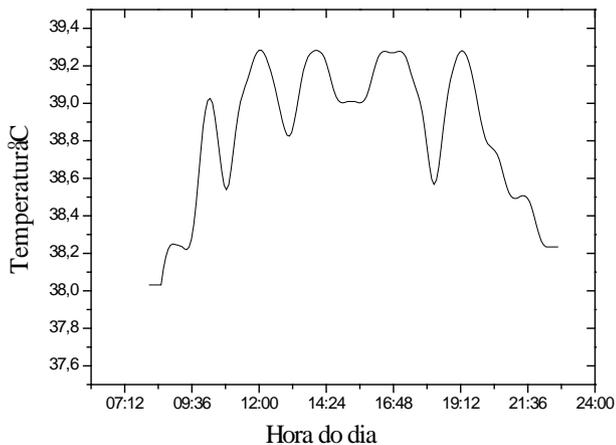


FIGURA 12. Temperatura da mucosa vaginal medida a cada cinco minutos, das 07:15 às 22:05 horas, usando o sistema desenvolvido.

Observou-se também que o implante do sensor na mucosa vaginal durou dez dias em média. Não foi observada nenhuma reação alérgica no local do implante, o que mostra que o TMP100 foi bem tolerado pelo organismo vivo.

Apesar do desconforto inicial causado pela cirurgia no local do implante, os animais não apresentaram sinais de *stress*. Além disso, mantiveram seu comportamento natural de alimentação e movimentação dentro do piquete experimental.

As temperaturas coletadas mostraram também ausência de febre no local de implante. A assepsia do cabo do sensor e do local do implante ajudou a prolongar o tempo de operação do sensor.

A maioria dos sensores de temperatura tipo “Data Logger” existentes no mercado não apresenta algumas facilidades importantes na experimentação animal, como, por exemplo, permitir o implante do elemento sensor em uma determinada posição no animal. O sistema desenvolvido usa uma solução de projeto eletrônico que adapta uma tecnologia nova às condições nacionais. O

TMP100 é um dispositivo usado para controlar a temperatura em microprocessadores de computadores portáteis. Essa é a razão de seu reduzido tamanho. Com o sistema eletrônico desenvolvido, conseguiu-se, neste projeto, adaptar o TMP100 para operar implantado dentro de um organismo vivo. Essa aplicação do TMP100 ainda não foi reportada na literatura atual, o que torna o sistema desenvolvido inédito.

CONCLUSÕES

Os resultados da experimentação animal a campo mostram que o sistema de monitoramento de temperatura desenvolvido é consistente com a proposta de medir temperatura em bovinos para futuros estudos de tolerância ao calor. As principais conclusões são:

- A temperatura medida pelo TMP100 responde corretamente quando comparada a um padrão.
- O sensor mantém-se estável quando submetido às intempéries.
- A duração do implante do sensor na mucosa vaginal foi de no máximo dez dias

AGRADECIMENTOS

À Prefeitura do Campus da USP de Pirassununga (PCAPS), pelo apoio à experimentação animal, e à FAPESP (proc.: 05/03136-4), pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALBUS, Z. Interfacing the MSP430 and TMP100 temperature sensor. **Texas Instruments Application Report**, August 2002. SLAA151. p.1-6.
- BROWN-BRANDL T. M. Thermoregulatory responses of feeder cattle. **Journal Thermal Biology**, Oxford, England, v. 28, p. 149-157, 2003.
- CARVALHO F. A. et al. Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subjected to heat stress. **Journal of Animal Science**, Savoy, USA, v.73, p. 3570-73, 1995.

- CRUVINEL, P. E. Instrumento microprocessado de baixo custo para avaliação da temperatura em perfil de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n.11, p. 2269-2275, 2000.
- HAHN, G. L. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. **Journal of Animal Science**, Suppl. 2, v. 77; **Journal of Dairy Science**, Suppl 2, v. 82, Savoy, USA, p.10-20, 1999.
- LEFCOURT A. M.; ADAMS W. R. Radiotelemetry measurement of body temperatures of feedlot steers during summer. **Journal of Animal Science**, Savoy, USA, v. 74, p. 2633-2640, 1996.
- MADER, T. L. et al. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, USA, v. 80, p. 2373-2382, 2002.
- SILVA, R. G. da. Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 1244-52, 2000.
- VARITRONICS I. **The I2C-bus specification version 2.1**, Philips Semiconductors Datasheet, VI-302 LCD, jan. 2000. Disponível em: <http://www.semiconductors.philips.com/acrobat_download/literature/9398/39340011.pdf>.

Protocolado em: 17 mar. 2006. Aceito em: 25 jun. 2007.