

Resumo

Sistema de monitorização da temperatura central para diagnóstico de distúrbios de sono.

No presente evento é apresentado um sistema de diagnóstico de distúrbios de sono a partir de um equipamento simples para proceder à medição contínua da temperatura do corpo humano no pavilhão auricular. Um sensor de temperatura electrónico, acoplado ao microfone de um auricular Bluetooth (1), envia as medições da temperatura para o telemóvel ao qual se encontra emparelhado. Com a informação adquirida é determinado o ciclo circadiano da temperatura a partir do qual se podem diagnosticar determinados distúrbios do ciclo circadiano do sono/vigília humano. As medidas são guardadas na memória do telemóvel e periodicamente enviadas via e-mail ou SMS (*short messaging service*) para um centro clínico.

Dado que não são utilizados fios, o sistema permite uma utilização de longa duração e de forma contínua sem desconforto para o paciente. A electrónica está muito simplificada e miniaturizada visto ser composta por um simples sensor de temperatura (2), que modula em frequência uma portadora sinusoidal de áudio. Esta é injectada no microfone do auricular e enviada para o telemóvel através do canal de voz.

Figura para publicação



Descrição

Sistema de monitorização da temperatura central para diagnóstico de distúrbios de sono.

No presente evento é apresentado um sistema de monitorização e um equipamento simples para proceder à medição contínua da temperatura do corpo humano no pavilhão auricular, com aplicação ao diagnóstico de distúrbios de sono.

Palavras-chave

biomedicina, temperatura central, telemóvel, Bluetooth, distúrbios sono

Estado da arte

Alguns procedimentos clínicos de diagnósticos necessitam de medições contínuas da temperatura do paciente em condições normais de vida, como por exemplo os distúrbios de sono referidos anteriormente.

Para esta finalidade foram propostos equipamentos leves e portáteis que transmitem a informação da temperatura através de sistemas de comunicação dedicados sem fios.

Actualmente existem diversos termómetros electrónicos comerciais que apresentam uma boa precisão, alguns deles particularmente apropriados para realizar monitorizações de temperatura de elevada taxa de amostragem devido à sua fácil utilização e rapidez de aquisição, tal como o Temporal Scanner da EXERGEN [EXERGEN Corporation, <http://www.exergen.com/medical/index.htm>]. Ainda assim estes termómetros não permitem realizar monitorização contínua da temperatura sem necessitar de intervenção manual. A monitorização contínua da temperatura é normalmente realizada em centros médicos com o auxílio de equipamento dispendioso em pacientes hospitalizados e normalmente acamados.

Um sistema de precisão é proposto na patente A Method and System of Continual Temperature Monitoring, United States

Patent 20070027403, onde a temperatura central é medida através de uma cápsula que é ingerida ou directamente introduzida no recto e que transmite a temperatura central corporal ou por um penso da derme que transmite a temperatura exterior. A informação da temperatura é transmitida por frequências de baixa potencia via rádio que pode ser monitorizada num computador convencional.

Outro sistema é descrito na patente [Bluetooth earphone for measuring body temperature, United States Patent 20050113131], onde se propõe um equipamento Bluetooth para a medição da temperatura corporal central. A temperatura medida por um dispositivo auricular (colocado no ouvido) é enviada por Bluetooth para uma base de dados onde é guardada. O auricular é um dispositivo dedicado e específico que comunica directamente com o sistema receptor, também ele um sistema dedicado. O auricular Bluetooth inclui um micro-controlador e memória.

Em [Xuanwen Luo and Qiang Cheng, Unconfined mobile Bluetooth nursing and daily data collection, CCNC 2004 - IEEE Consumer Communications and Networking Conference, pp.693-696, 5-8 Jan., 2004] é apresentado um sistema baseado na utilização de um telemóvel para permitir a mobilidade desejada. Os autores propõem um dispositivo Bluetooth para adquirir diversos sinais biomédicos, e que são transmitidos para um centro clínico através da rede de telemóvel.

Assim sendo, propõe-se implementar um sistema de aquisição de temperatura, especificamente desenhado para monitorizar as suas variações ao longo de um determinado período de forma a inferir sobre o ciclo circadiano, e por sua vez determinar distúrbios de sono.

A invenção aqui proposta utiliza uma metodologia muito simples para estimar a temperatura central do corpo através da temperatura do tímpano. O objectivo é utilizar o grande poder de cálculo e de comunicação dos telemóveis actuais, disseminados por todo o mundo, para obter um sistema de medição avançado sem ter que desenvolver novos componentes específicos e dispendiosos. O sistema é composto por um auricular Bluetooth comercial ao qual foi física e electricamente acoplado um sensor de temperatura. A informação é enviada para o telemóvel pelo do canal de voz através de uma portadora modulada, desmodelada no telemóvel e processada, como seguidamente se descreve.

Antecedentes e descrição do invento

É sabido que o tímpano é um local que permite a medição indirecta da temperatura central com grande precisão, isto porque partilha vasos com o hipotálamo - estrutura que controla a temperatura do corpo. A medição da temperatura central do corpo é um indicador fisiológico de elevada importância para diversas aplicações clínicas, nomeadamente, na caracterização e diagnóstico de distúrbios do sono e na estimação do respectivo ciclo circadiano. Na realidade, os principais indicadores para a medição da fase do ciclo circadiano humano, são a secreção da melatonina (pela glândula Pineal) e a temperatura central do corpo. O ritmo circadiano tem uma periodicidade diária, aproximadamente 24 Horas, e interfere directamente nos processos químicos, psicológicos e comportamental dos seres vivos.

O "relógio" circadiano primário dos mamíferos encontra-se localizado no núcleo supraquiasmático (NSQ) e num grupo de células especializadas localizadas no hipotálamo.

A destruição do NSQ resulta na completa ausência da regulação do ciclo sono/vigília. O NSQ recebe a informação relativa à iluminação proveniente das células do gládio retinal fotossensível, presente nos olhos. Estas células que contêm um pigmento foto-sensível, chamado melanopsina, que segue um percurso denominado *trata retino-hipotalâmico*, até ao NSQ. Aparentemente o NSQ recebe a informação proveniente da retina relativamente a um dia, interpreta-o e estimula a glândula Pineal a segregar a hormona melatonina.

A secreção da melatonina é aproximadamente sinusoidal, com um período compreendido no intervalo de $23,5 < T < 24,65$ horas [Scheer, Frank A. J. L.; Kenneth P. Wright, Jr., Richard E. Kronauer, Charles A. Czeisler, Plasticity of the Intrinsic Period of the Human Circadian Timing System, PLoS ONE, 2007] apresentando um máximo durante a noite e um mínimo durante o dia, como é apresentado na Fig.2.

Fig.2 - Ciclo diário de produção de melatonina

A medição da secreção da melatonina produzida pelo corpo humano é clinicamente útil, permitindo diagnosticar diversas patologias, como por exemplo, diagnosticar distúrbios do sono que se revelam através de alterações do ciclo circadiano da sua produção.

Classicamente são utilizadas as medições da temperatura corporal e a secreção da melatonina para determinar o ciclo circadiano dos mamíferos. A medição da melatonina mostra-se de difícil implementação dado que é necessário ser

realizada num laboratório ou centro clínico. O método mais utilizado de medição indirecta para estimação do ciclo de produção de melatonina, e por sua vez o ciclo do sono, é a medição da temperatura corporal, sendo esta de muito mais fácil medição comparativamente com o método evasivo referido anteriormente.

O local que permite obter a temperatura central com maior precisão é o hipotálamo, localizado na base do cérebro, onde é realizado o controlo da temperatura corporal. A sua principal função é receber a informação dos vários sensores de calor presentes por todo o corpo e adaptar a temperatura corporal com base nessas informações [Severine, J.E., and McKenzie, N.J. (1998). *Advances in temperature monitoring: A far cry from "shake and take"*. The Nursing Institute and Sherwood-Davis and Geck. Sherwood-Davis and Geck: St.Louis, MO.]. O objectivo do hipotálamo é manter a temperatura do corpo (temperatura do coração, pulmões, fígado, rins, cérebro, etc.) entre os 36°C e os 38°C. O acesso ao hipotálamo é difícil e invasivo. Em [DiBenedetto, L. (1993). *Core Temperature*. IVAC Corporation: San Diego, CA.] a temperatura corporal é descrita como uma estimativa média da temperatura do sangue nos principais vasos sanguíneos. Tradicionalmente, a temperatura corporal é medida por contacto, via oral, rectal ou nas axilas. A escolha destes locais têm por base a facilidade de acesso e não a precisão, e não representam a temperatura interna corporal com a precisão necessária [Bayham, E., Fucile, F., McKenzie, N., and O'Shara, G. (1996). *Clinical considerations for use of FirstTemp and FirstTemp Genius Infrared tympanic thermometers*. Sherwood Davis and Geck. Sherwood Medical Company: St. Louis, MO.]. A artéria pulmonar é um local ideal dado a sua distância com o coração. Outros locais de precisão são o esófago, o tímpano e a bexiga urinária, que são utilizados quando medições da temperatura rigorosas são necessárias. Esta invenção descreve um sistema para medir indirectamente a temperatura central através do tímpano. A Fig.3 Mostra representação esquemática do sistema.

Sistema de comunicação (Fig. 3)

Este é baseado num telemóvel (4)Fig.3 emparelhado com um auricular Bluetooth que envia continuamente a medição da temperatura do interior do pavilhão auricular (3)Fig.3, que se correlaciona fortemente com a temperatura no tímpano e portanto com a temperatura central. A informação é guardada no telemóvel e periodicamente enviada via e-mail ou SMS para um centro clínico (5)Fig.3, que realiza o controlo da informação. Alternativamente, toda a informação guardada

que foi sendo adquirida durante o teste clínico, é transmitida para o computador do médico via Bluetooth ou Infra-vermelhos (5)Fig.3. Após a recepção de dados, estes estarão disponíveis ao médico através de uma plataforma WEB conectada ao centro de recepção de dados (6)Fig.3.

O principal objectivo desta invenção é a de utilizar a grande capacidade computacional e de comunicação dos telemóveis actuais, para adquirir, processar e transmitir informação biomédica. Neste projecto, é descrito um sistema para adquirir a temperatura central do corpo no ouvido, baseado num auricular Bluetooth (1)Fig.1 e num telemóvel. Um sensor de temperatura electrónico (2)Fig.1 é acoplado no exterior do auricular de forma a medir a temperatura na proximidade do tímpano, que é um dos melhores locais para inferir a temperatura central do ser humano (ver Fig.3).

Auricular com sensor de temperatura (Fig.1)

A informação da temperatura, adquirida pelo sensor modula em frequência uma portadora sinusoidal que é injectada no auricular que utiliza uma frequência de amostragem de 4 kHz.

Para que o sistema permita uma medição contínua num esquema de 24 sobre 24 horas, dois auriculares são utilizados alternadamente de forma a permitir uma utilização contínua do sistema enquanto se realiza carga da bateria do auricular.

O sistema é composto pelos componentes que a seguir se descrevem e que estão representados no diagrama de blocos apresentado na Fig.4

Diagrama de Blocos (Fig.4)

Um sensor electrónico de temperatura (2)Fig.1 externamente acoplado ao auricular e que é colocado no interior do ouvido permitindo assim ficar próximo do tímpano permitindo assim medir a temperatura central.

O sensor electrónico de temperatura, baseado no circuito integrado LM234, gera uma tensão aos terminais que é proporcional à temperatura do seu encapsulamento. Sendo esta uma fonte de corrente controlada por tensão, a variação da temperatura impõe uma variação da corrente que irá actuar no modulo do oscilador controlado por tensão (VCO) seguinte (7)Fig.4.

O circuito integrado que constitui o VCO é o LM331 e caracteriza-se por modular em frequência na banda de [2000,

2400] Hz, uma portadora sinusoidal, com a tensão à saída do sensor de temperatura (8)Fig.4.

Esquema do sensor de temperatura Fig.5

Um auricular Bluetooth onde o sinal modulado é injectado no circuito do microfone para ser enviado para o telemóvel pelo circuito de voz. (9)Fig.4

O software de controlo do sistema Fig.6, a correr no telemóvel (10)Fig.4, que continuamente adquire amostras do sinal áudio, descodifica-o e guarda o valor da temperatura medida na memória interna ou num cartão de memória.

Diagrama de Blocos Software. Fig.6

O software do telemóvel deverá efectuar as seguintes operações:

1) Automaticamente estabelecer a comunicação com o auricular Bluetooth (12)Fig.6 para adquirir o sinal modulado em frequência (FM) (14)Fig.6 que contem a informação da temperatura.

2) Remover o ruído (15)Fig.6 através de um filtro de Kalman e estimar o valor da temperatura baseada na amostra actual (17)Fig.6 e nos valores adquiridos previamente (19)Fig.6. Este filtro permite minimizar o efeito dos valores que se consideram fora de contexto baseado na informação adquirida até ao momento.

3) O valor estimado da temperatura é armazenado num ficheiro presente no cartão de memória do telemóvel (18)Fig.6.

4) A aquisição de valores de temperatura por parte do telemóvel faz-se de forma variável a que corresponde uma estratégia adaptativa de amostragem de forma a minimizar o consumo de energia do auricular. Nesta estratégia, o intervalo de tempo entre aquisições aumenta quando a variação da temperatura é baixa e diminui quando se detectam variações mais rápidas. Desta forma consegue-se manter a precisão da curva e simultaneamente otimizar o consumo do auricular.

5) O ficheiro com as temperaturas é periodicamente enviado (24)Fig.6 para um centro médico via SMS, e-mail ou por Bluetooth para um computador (25)Fig.6.

6) O programa gera um alarme quando a carga da bateria do auricular ou do telemóvel está a terminar, para que se substitua o auricular ou se carregue o telemóvel e permita uma medição sem interrupções da temperatura. (13)Fig.6

7) O programa está ainda preparado para gerar diversos alarmes mediante algumas situações críticas, como elevadas temperaturas, longos períodos de ausência de sinal ou de valores correctos de temperatura devido, por exemplo, à posição incorrecta do auricular. (13)Fig.6

8) O programa realiza também processamento de alto nível sobre o sinal (22)Fig.6 adquirido como por exemplo a estimação e apresentação do ciclo circadiano, estimação de desvios de fase ou mostrar as distorções na curva circadiana da temperatura relativamente ao traçado considerado normal (23)Fig.6.

Num modo secundário de operação, o auricular Bluetooth, é inquirido através de uma chamada telefónica e a medição é enviada automaticamente via SMS para o mesmo número.

A presente invenção pretende substituir o método tradicional utilizado no diagnóstico de distúrbios do sono em que os valores da temperatura são obtidos manualmente pelo paciente tipicamente com uma periodicidade horária. Este método não é eficiente pois as medidas não são rigorosas e faltam por vezes medições que o paciente não teve oportunidade de realizar. Além disso, a utilização do canal de voz de um auricular comercial para transmitir os dados permite obter um sistema altamente sofisticado a baixo custo.

Na Fig.7 mostra-se um gráfico com os dados adquiridos entre as 10 e as 19h onde se representam os valores brutos ruidosos e os respectivos valores filtrados com o filtro de Kalman. Pode-se verificar a eficácia deste tipo de filtragem.

Resultados experimentais. Fig.7

Lisboa, 19 de Junho de 2008

Reivindicações

- 1) Sistema de monitorização da temperatura central para diagnóstico de distúrbios de sono caracterizado por um sinal de Temperatura, modelado em frequência ser enviado do auricular para o telemóvel via Bluetooth através do canal de voz/áudio e ser decodificado pelo software a correr continuamente no telemóvel, sendo posteriormente armazenado no cartão de memória.

- 2) Sistema de monitorização da temperatura central para diagnóstico de distúrbios de sono, *de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por* um auricular comercial, onde é externamente acoplado um sensor de temperatura electrónico, para a medição da temperatura no tímpano, cujos valores são enviados para um telemóvel com o qual o auricular se encontra emparelhado, e deste para um centro de recepção de dados, por exemplo um PC, sendo que o subsistema do auricular é composto por:
 - a) Um auricular comercial Bluetooth emparelhado com um telemóvel com os sistemas operativos compatíveis, e
 - b) Um sensor electrónico de temperatura externamente acoplado ao auricular que permite proceder á medição da temperatura do pavilhão auricular;
 - c) Um circuito electrónico, que contém um *oscilador controlado por tensão* (VCO) e que modula uma portadora sinusoidal de 1000 Hz com o sinal do sensor de temperatura;
 - d) portadora modulada em frequência (FM) que é injectada no circuito do microfone do auricular para ser transmitida para o telemóvel.

- 3) Sistema de monitorização da temperatura central para diagnóstico de distúrbios de sono *de acordo com a*

reivindicação 1 e 2, caracterizado por o auricular ser automaticamente activado pelo telemóvel, e o sinal com a informação da temperatura ser recebido no telemóvel, decodificado, e o valor da temperatura resultante ser introduzida num ficheiro que contém as medições realizadas anteriormente e as respectivos horas e datas de aquisição, da seguinte forma:

- a) O telemóvel inquire o auricular Bluetooth adaptativamente em intervalos de tempo variáveis baseados em medições anteriores;
 - b) A frequência de amostragem do sinal aumenta com o aumento da variação de temperatura, e diminui com a estabilização da mesma;
 - c) A informação guardada no ficheiro de dados no telemóvel é enviada via e-mail ou SMS para um centro clínico, ou é processada localmente no telemóvel de forma a calcular os marcadores de fase usados no diagnóstico dos distúrbios do sono;
 - d) Os dados brutos, filtrados, processados assim como os indicadores de fase podem ser graficamente representados no telemóvel.
- 4) Sistema de monitorização da temperatura central para diagnóstico de distúrbios de sono de acordo com a reivindicações anteriores, caracterizado por não existir degradação na estimativa da curva de temperatura devido à amostragem adaptativa destinada à redução da energia consumida pelo auricular.
- 5) Software para monitorização da temperatura central para diagnóstico de distúrbios de sono de acordo com a reivindicações anteriores, caracterizado por
- a) Automaticamente estabelecer a comunicação com o auricular Bluetooth (12) para adquirir o sinal

- modulado em frequência (FM) (14) que contem a informação da temperatura;
- b) Remover o ruído (15) utilizando um filtro de Kalman e estimar o valor da temperatura baseada na amostra actual (17) e nos valores adquiridos previamente (19);
 - c) armazenar num ficheiro presente no cartão de memória do telemóvel (18) o valor estimado da temperatura;
 - d) enviar periodicamente o ficheiro com as temperaturas (24) para um centro médico via SMS, e-mail ou Bluetooth para um computador (25);
 - e) gerar um alarme quando a carga da bateria do auricular ou do telemóvel está a terminar(13);
 - f) gerar diversos alarmes mediante algumas situações críticas, como elevadas temperaturas, longos períodos de ausência sinal ou de valores correctos de temperatura devido, por exemplo, à posição incorrecta do auricular. (13);
 - g) realizar o processamento de alto nível sobre o sinal (22) adquirido como por exemplo a estimação e apresentação do ciclo circadiano, estimação de desvios de fase ou mostrar as distorções na curva circadiana da temperatura relativamente ao traçado considerado normal (23);
- 6) Software para monitorização da temperatura central para diagnóstico de distúrbios de sono **de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por** num modo secundário de operação, o auricular Bluetooth, ser inquirido através de uma chamada telefónica e a medição é enviada automaticamente via SMS para o mesmo número.

Lisboa, 19 de Junho de 2008



Fig. 1

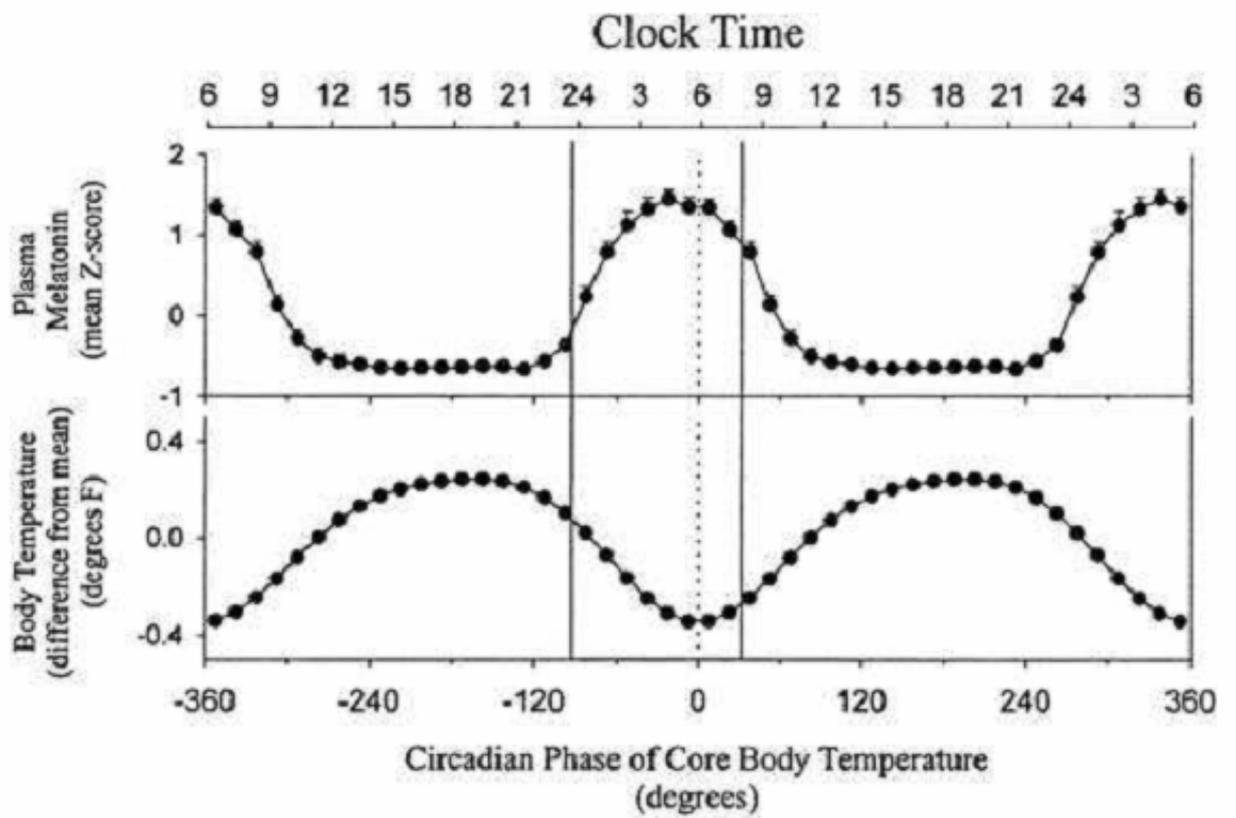


Fig. 2

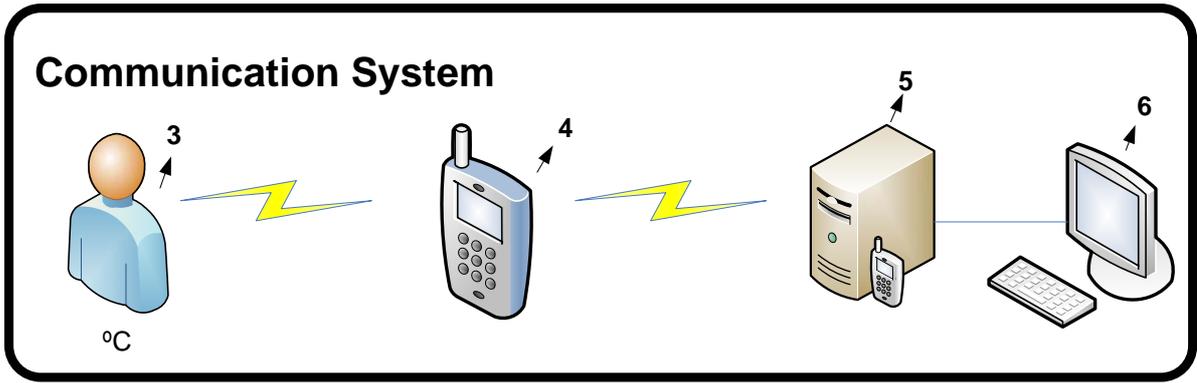


Fig.3

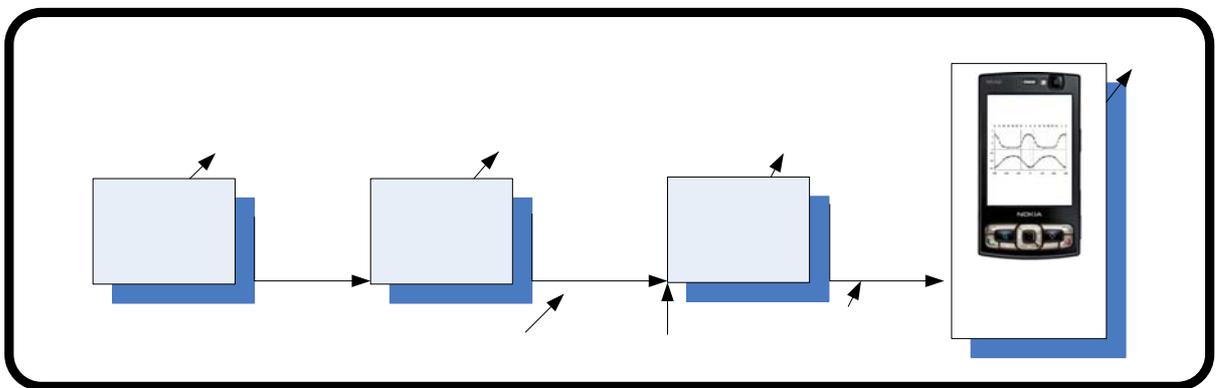


Fig. 4

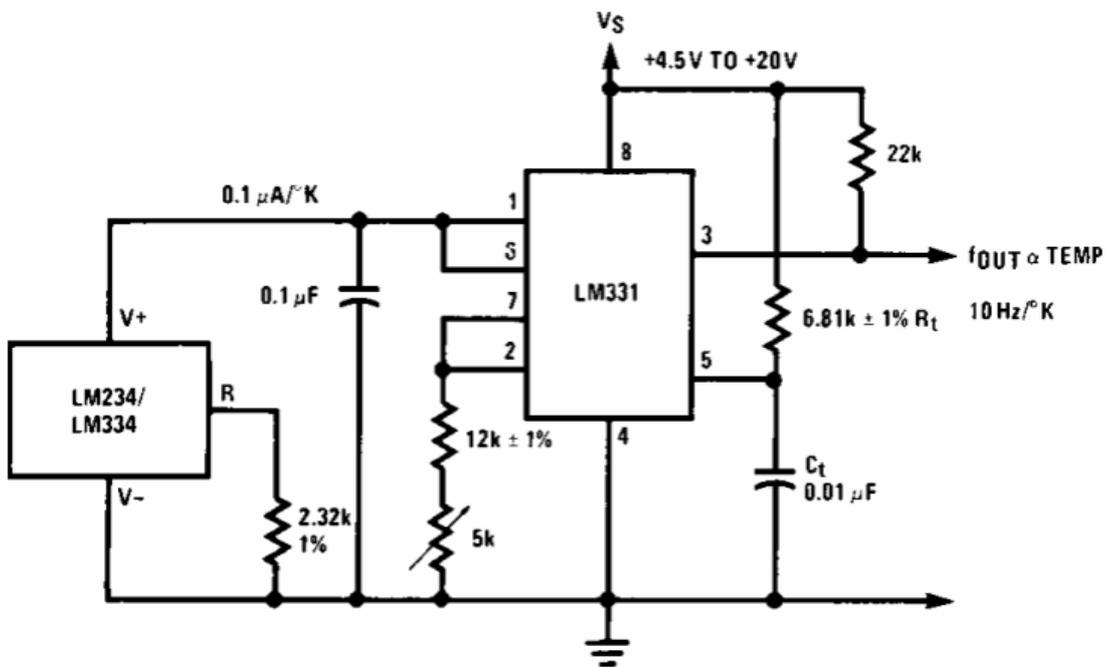


Fig.5

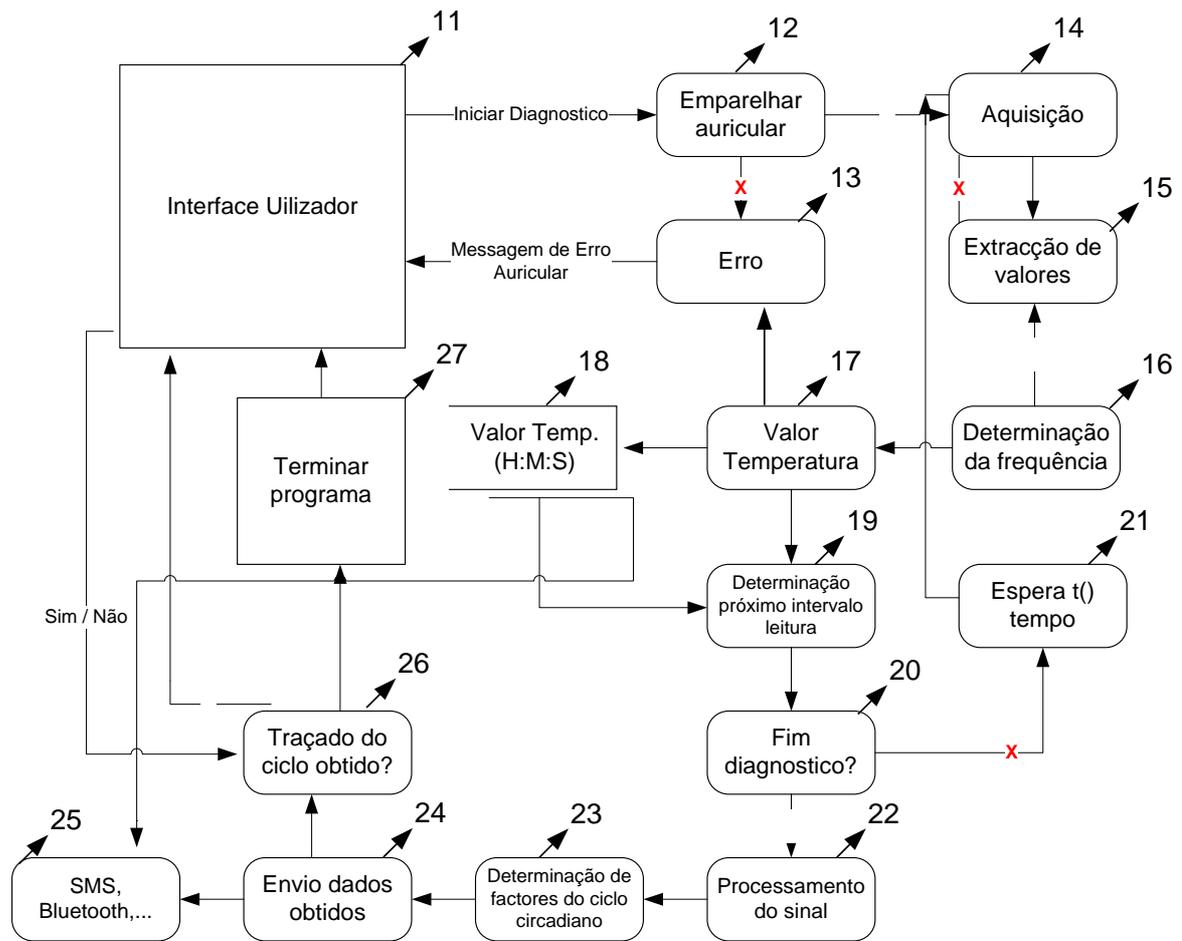


Fig. 6

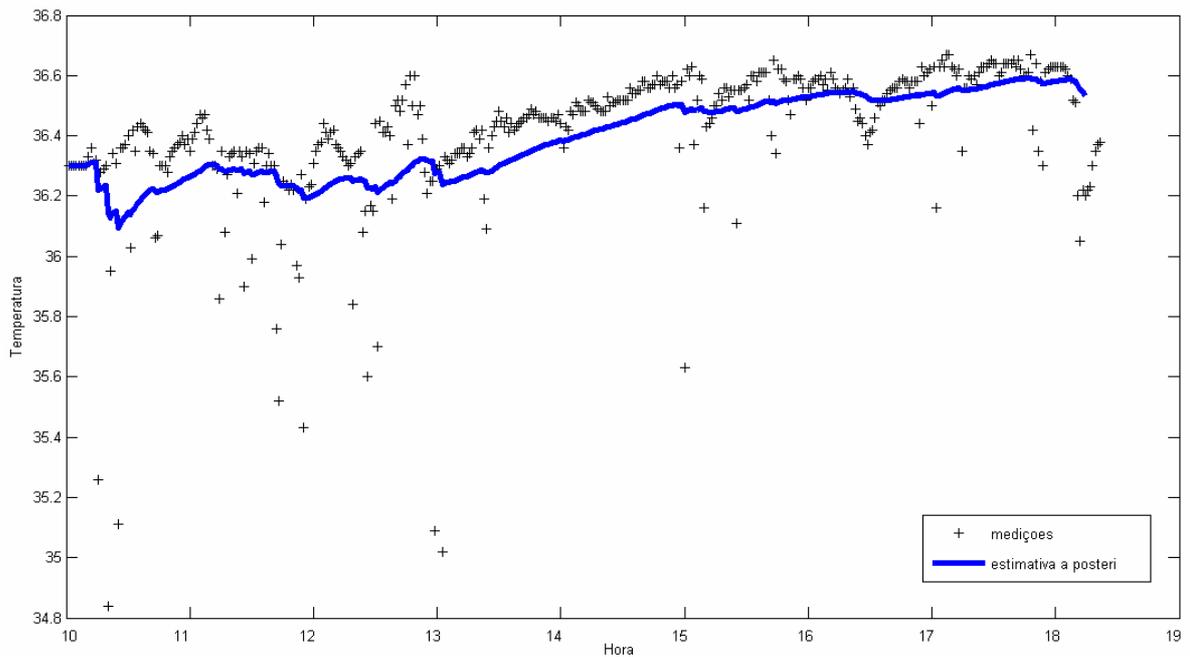


Fig. 7