

# UMA INTERFACE HUMANA BASEADA NAS TÉCNICAS DE ECOLOCALIZAÇÃO

Shiguelo Nomura, Effrain Roney Bernardes, Keiji Yamanaka, Paulo Sérgio Caparelli

[shiguelonomura@feelt.ufu.br](mailto:shiguelonomura@feelt.ufu.br), [effrainroney@gmail.com](mailto:effrainroney@gmail.com), [keiji@ufu.br](mailto:keiji@ufu.br), [pscparelli@ufu.br](mailto:pscparelli@ufu.br)

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG

**Resumo** – Este trabalho propõe uma nova interface humana baseada no aproveitamento das técnicas de ecolocalização e uma análise do potencial deste tipo de interface através de experimentos. Para essa análise, foi construído um aparato experimental constituído de um dispositivo capaz de emitir e receber sinais ultrassônicos. Foram realizados experimentos com alguns voluntários submetidos a treinamentos e testes para classificarem objetos (alvos) de diferentes formatos valendo-se somente de informações sonoras captadas através do sistema auditivo. Os resultados experimentais iniciais obtidos têm superado as expectativas da capacidade humana de aproveitar as vantagens das técnicas de ecolocalização. Esses resultados promissores levaram a concluir que a proposta da nova interface humana é plenamente viável e têm-nos encorajado a prosseguir nas investigações.

**Palavras-Chave** – Ecolocalização, interação, interface humana, ultrassom.

## A HUMAN INTERFACE BASED ON ECHOLOCAION TECHNIQUES

**Abstract** – This work proposes a new human interface based on taking advantage of the echolocation techniques and an analysis of the potential for this kind of interface through experiments. An experimental apparatus with a device that can emit and receive ultrasound signals was constructed for the analysis. Some subjects participated in the experiments for training and test to classify objects (targets) with various shapes capturing only sound information through their audition system. The obtained initial experimental results have exceeded the human capacity hopes in taking advantages of the echolocation techniques. These promising results led to conclude that the new human interface proposal is fully feasible and they have encouraged us to continue with the investigation.

**Keywords** – Echolocation, interaction, human interface, ultrasound.

## I. INTRODUÇÃO

Várias espécies de animais tais como morcegos e golfinhos usam os próprios sons emitidos e o sistema auditivo para perceberem e localizarem os objetos no seu ambiente. Os pulsos dos sons emitidos refletem dos objetos alvo na forma de eco e podem ser interpretados pelo sistema auditivo assim como as ondas de luz refletidas são interpretadas pelo sistema visual [1]. Essa habilidade para localizar objetos com ecos foi denominada como ecolocalização ou biosonar por Donald Griffin [2]. Em 1938, Griffin foi quem revolucionou a ciência da percepção auditiva com sua descoberta de que os morcegos possuem uma magnífica habilidade em utilizar sinais sonoros de alta frequência para evitar obstáculos [2].

### A. Vantagens da Ecolocalização

A vantagem da ecolocalização é que possibilita às espécies reduzirem sua dependência do sistema visual. Essa maior independência traz uma grande vantagem ao ecolocalizador na hora da navegação ou caça sob condições de pouca iluminação.

As técnicas de ecolocalização têm sido utilizadas por inúmeros mamíferos [3] e por seres humanos. Um exemplo mais marcante é de Daniel Kish [4] que perdeu a visão aos 2 anos de idade mas aprendeu a se movimentar como qualquer outra criança. Para compensar a falta de visão e fazer uso do canal de audição, ele passou a estalar sua língua e se orientar pelo eco que refletia dos objetos a sua volta. A ecolocalização não é um princípio novo e Kish conseguiu aperfeiçoar e tirar proveito dessa técnica como ninguém. Ele consegue caminhar sozinho por áreas florestais desconhecidas e até pedalar com sua bicicleta pelas ruas de Los Angeles. Atualmente, preside uma organização não governamental fundada por ele para mostrar e ensinar às pessoas com deficiência visual que o mundo é tão acessível para elas quanto é para as pessoas com visão normal se elas souberem aproveitar as habilidades de ecolocalização.

### B. Investigações Relacionadas

Recentemente, o interesse e a necessidade de se usar sinais sonoros mais complexos que os simples sinais de bip têm crescido em variadas pesquisas para interfaces humanas não convencionais [5].

Os pesquisadores têm demonstrado que as pessoas podem reconhecer interessantes tipos de padrões de dados representados por esses sinais sonoros mais complexos. Um exemplo real seria o “vOICE Learning Edition” [6] que converte as imagens capturadas por uma câmera de vídeo em sinais sonoros.



X CEEL - ISSN 2178-8308  
24 a 28 de setembro de 2012  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

## II. JUSTIFICATIVAS

Tradicionalmente, as interfaces humanas convencionais que utilizam computadores têm sido baseadas em concepções artificiais tais como reconhecedor automático de padrões, conversor de linguagem falada e sintetizador de voz. A Figura 1 mostra uma interação auxiliada pelos sistemas artificiais tradicionais entre um usuário e um alvo. Estes sistemas tentam reconhecer, converter e sintetizar as informações sobre determinado alvo para transmiti-las ao usuário.



Fig. 1. Ilustração de interface humana convencional.



Fig. 2. Ilustração de interface humana proposta.

Os seguintes problemas ainda reais são difíceis de serem solucionados pelos sistemas artificiais:

- Um sistema de reconhecimento de caracteres altamente preciso e acurado que se aproxima da capacidade humana;
- Um conversor inteligente da linguagem escrita para a linguagem falada como acontece com seres humanos, considerando os vários problemas possíveis na qualidade da imagem de entrada;
- Um sintetizador de voz capaz de se adaptar às variações dos dados de entrada com habilidades próximas às do ser humano.

Nas interfaces hoje existentes como o “vOICe Learning Edition”, as características sonoras (por exemplo, duração, intervalo e intensidade) têm sido usadas para representar as dimensões dos dados. Esse tipo de representação tem levado

ao uso de tons sonoros artificiais sem qualquer analogia com aqueles do cotidiano real. Por esse motivo, os usuários têm encontrado grandes dificuldades em lidar com esse tipo de interface. O problema acarretado pelos tons sonoros artificiais tem requerido um intenso trabalho de treinamento dos eventuais usuários, em um ambiente seguro e familiar antes de poderem usufruir plenamente das vantagens da interface.

Pelas técnicas de ecolocalização, o sistema auditivo humano pode processar as ondas sonoras refletidas de uma maneira similar à visão que processa ondas de luz refletidas. As ondas sonoras trafegam da fonte para o alvo, são por ele refletidas e, ao retornarem, entram pelos ouvidos do usuário próximo à fonte sem sofrerem qualquer interpretação alheia.

### A. Motivação e originalidade

A informação latente que está encapsulada nos sons dos objetos alvo constitui uma potente fonte que pode ser explorada para a transmissão e comunicação de sensações.

Nossos ouvidos poderiam nos ajudar a possibilitar um meio de se extrair informações dos sinais sonoros, informações estas que não poderiam ser mostradas visualmente. Por exemplo, batendo-se na carcaça dos objetos alvo, pode-se inferir qual o conteúdo desses objetos avaliando-se a qualidade do som refletido. Assim, a qualidade dos alimentos enlatados é facilmente percebida apenas batendo-se por fora das latas sem a necessidade de inspeção visual que demandaria mais trabalho e tempo. Os caminhoneiros podem facilmente avaliar se as pressões dos pneus estão adequadas apenas batendo-se nas carcaças desses pneus com um martelo de madeira e ouvindo-se os sons refletidos.

Um sistema que utiliza ultrassom como meio para possibilitar uma ação específica nos objetos localizados remotamente, com a possibilidade de capturar os sons refletidos (estímulos) como ecos e reproduzi-los dentro da faixa audível para os humanos, possibilitaria a extração de uma série de informações sobre esses objetos. Isto promoveria a interface proposta como uma opção para uma comunicação mais rica ao incluir sensações sonoras do alvo.

A motivação dessa proposta é desvincular o uso típico das concepções artificiais desenvolvendo interfaces livres que possam explorar as bem dotadas habilidades auditivas humanas e, assim, enriquecer as interações e comunicações. Outro ponto a ser destacado é que nessa proposta não há necessidade de se converter sinais de características diferentes como acontece com o vOICe em que os sinais de luz da câmera precisam ser convertidos em sinais sonoros.

A originalidade da proposta está na introdução da idéia da concepção livre na interação com os alvos através dessa nova interface humana. No caso, a concepção livre refere-se à possibilidade de proporcionar aos usuários a chance de recuperar a liberdade de interagir com os objetos alvo, ou com o ambiente ao seu redor, sem depender das concepções artificiais ou interpretações alheias. Os usuários serão capazes de aproveitar as experiências pessoais e tomar as próprias decisões durante suas interações com os alvos valendo-se de suas habilidades de ecolocalização.

Esta proposta apresenta ainda o uso de sinais sonoros de uma maneira análoga ao uso de ícones visuais para poder proporcionar informações mais amigáveis aos usuários, sem

a necessidade de um treinamento árduo e de um complexo sistema de conversão de sinais.

A Figura 2 mostra um diagrama ilustrativo de utilização da interface proposta considerada não convencional e baseada nas habilidades de ecolocalização do usuário.

### B. Mérito

O grande mérito da interface proposta é que os usuários são livres para interpretar as informações originais recebidas sobre o alvo sem depender de conceitos interpretados por terceiros como acontecem nas interfaces convencionais. Ainda, o outro mérito da interface proposta é que ela pode ser utilizada em diferentes culturas ou linguagens sem quaisquer modificações ou adaptações.

## III. OBJETIVOS

Em termos gerais, o objetivo deste trabalho consiste no estudo da viabilidade de uma interface não convencional baseada em um dispositivo existente no mercado para processamento de sinais ultrassônicos que permitam a percepção de ecos, formatos e composições (densidade, textura) de objetos alvo.

Nesse tipo de interface baseada na ecolocalização, a interação entre o usuário e o alvo se dá através de sinais ultrassônicos que transportam as informações necessárias.

Para a percepção de ecos, devem estar presentes o som emitido, o alvo para refleti-lo e um observador com habilidades normais de percepção auditiva.

O estudo envolve a utilização de um dispositivo comercial denominado K-Sonar (Figura 3) que emite sinais ultrassônicos e recebe os sons refletidos pelo alvo, permitindo assim a medição da sua distância, tamanho, densidade ou outras características relevantes. Os usuários poderão perceber estas características, através da conversão do eco para um sinal audível. Vale ressaltar que o dispositivo K-Sonar é utilizado originalmente para auxiliar na locomoção dos deficientes visuais facilitando a detecção de obstáculos. Entretanto, não se tem conhecimento do uso na percepção de formatos desses obstáculos como nos experimentos deste trabalho.



Fig. 3. Dispositivo com sensores ultrassônicos conhecido comercialmente como K-Sonar.

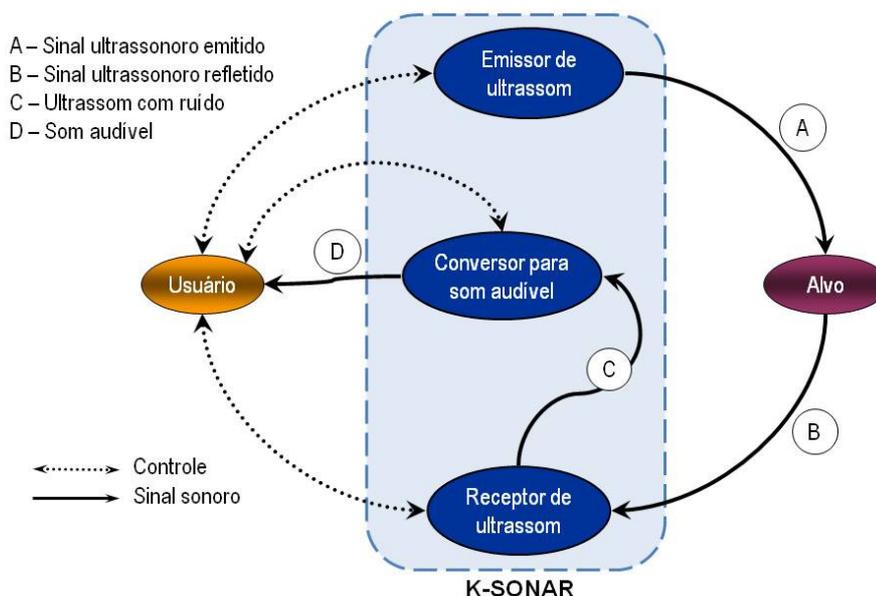


Fig. 4. Projeto esquemático da interface proposta.

Os principais pontos investigados nesta proposta são:

- Pesquisa de sinais sonoros adequados que proporcionem facilidade à ecolocalização, realizando para tanto a captura de indícios essenciais com informações a serem ecolocalizadas pelo usuário;
- Desenvolvimento de um sistema que possibilite aos usuários um processo natural de ecolocalização. As informações sobre o ambiente seriam adquiridas através dos indícios dos sinais sonoros permitindo uma interação personalizada (sem depender de interpretação ou concepção alheia) com o alvo.

O ponto referente à busca dos sinais sonoros mais adequados é baseado na evidência de que nossos ouvidos e o nosso cérebro extraem informações dos indícios de áudio que não podem ser ou não são mostrados visualmente. Por exemplo, ao batermos em embalagens (latas em conserva) e ouvindo os sons refletidos, podemos inferir sobre a qualidade do material que está armazenado, sem a necessidade de abriremos as embalagens para inspeção visual.

O segundo ponto consiste em investigar o processo de ecolocalização utilizando um aparato experimental montado para o estudo e é baseado no fato de que a informação ambiental sonora assim como a visual é representada

analogicamente. Na representação analógica, a correspondência de um para um entre as transformações no âmbito virtual (imaginário) e no âmbito real é uma propriedade fundamental. A psicologia ecológica [7] será utilizada como um fundamento teórico para analisar essa propriedade fundamental durante os experimentos. A partir deste ponto de vista, em um ambiente que conta com o uso de um aparato experimental da interface proposta, pretende-se analisar os seguintes aspectos da ecolocalização:

- Discriminação de “superfícies sonoras” que representam as paredes, o teto e o assoalho do ambiente alvo a ser detectado pelo usuário valendo-se apenas de sua audição;
- Detecção do formato tridimensional de um alvo (objeto) pelo usuário utilizando a interface proposta e apenas o seu sistema auditivo.

#### IV. ARQUITETURA DA PROPOSTA

A Figura 4 apresenta uma arquitetura básica da interface a ser montada como aparato experimental. Pode-se verificar que um dispositivo de ultrassom emite (A) e recebe (B) sinais ultrassonoros. Também, nota-se que há um dispositivo para converter o sinal ultrassonoro (C) refletido do alvo em som audível (D) pelo usuário. É importante ressaltar que esse som audível deve refletir exatamente as características do alvo, sem qualquer trabalho de interpretação por parte do sistema. O usuário receberá os sinais sonoros “brutos” com

os indícios essenciais para perceber o alvo que está a sua frente através de suas habilidades de ecolocalização.

#### V. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

##### A. Equipamentos para coleta de dados

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- K-Sonar como dispositivo comercial existente no mercado e destinado aos usuários visualmente desabilitados que precisam ser orientados durante a sua locomoção. Tecnicamente, o K-Sonar é dotado de um emissor de sinais ultrassonoros que atingem os obstáculos localizados à frente do usuário. Também possui um receptor de sinais ultrassonoros que recebem os sinais refletidos dos obstáculos em questão. E ainda, possui um conversor de sinais ultrassonoros para sinais audíveis pelo ser humano acompanhado de um dispositivo para amplificar e ajustar o som a um nível confortável ao voluntário. Os sinais sonoros deverão transmitir as informações sobre os tipos de alvos a serem percebidos e classificados pelos voluntários da pesquisa.
- Computador como processador de software para registrar as respostas dos voluntários e controlar o processo de coleta dos dados.
- Fones de ouvido como dispositivos terminais para transmitir aos voluntários os estímulos sonoros provenientes da emissão e recepção de sinais ultrassonoros pelo K-Sonar.



Foto 1



Foto 2

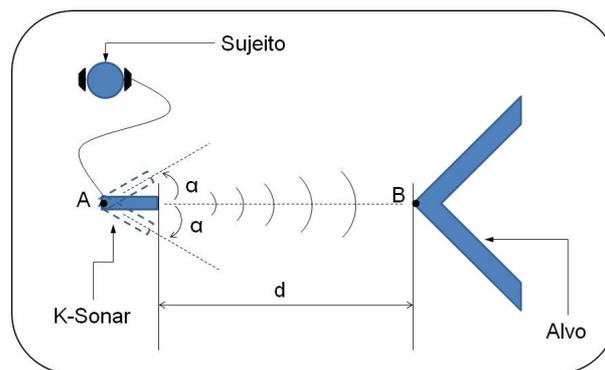


Foto 3

Fig. 5. Projeto e ilustração da implementação do aparato experimental.

### B. Aparato experimental

A Figura 5 mostra a vista superior do projeto de aparato experimental que foi montado para os experimentos. O dispositivo (K-Sonar) foi fixado em uma bancada laboratorial de forma que o voluntário tivesse liberdade para rotacioná-lo horizontalmente no sentido horário ou anti-horário e em torno de um eixo vertical que passa pelo ponto A mostrado no projeto. O ângulo limite de varredura do alvo através da rotação do dispositivo foi de  $\alpha$  com valor de 23,7 graus contados a partir do eixo imaginário que liga os pontos A e B. A velocidade angular de rotação do dispositivo também poderia ser estabelecida livremente pelo próprio voluntário, de forma que ele pudesse obter o máximo grau de certeza na detecção do formato do alvo à sua frente através das suas habilidades de ecolocalização. A distância  $d$  entre o dispositivo e a parte frontal do alvo foi fixada em 55 cm para os experimentos. A implementação do aparato experimental está ilustrada pelas fotos 1, 2 e 3 da Figura 5.

### C. Preparação dos voluntários

Inicialmente, os voluntários receberam informações sobre os objetivos da coleta de dados.

Estes voluntários foram submetidos a um treinamento prévio para se familiarizarem com os procedimentos das coletas.

Para a coleta de dados, o voluntário permaneceu sentado em um banco com altura regulável e de olhos vendados conforme se observa na foto 1 da Figura 5.

Os experimentos foram realizados num ambiente calmo e confortável com a temperatura ambiente controlada. O voluntário foi instruído para manter seus músculos relaxados durante a coleta de dados.

Durante a aplicação dos estímulos sonoros, o voluntário foi orientado para prever o tipo de formato correspondente ao som ouvido, de uma forma mais relaxada e natural possível. Portanto, após a preparação dos voluntários, o processo de coleta de dados se resumiu em submeter o voluntário a estímulos sonoros variáveis de acordo com os tipos de alvos e no volume que lhe seja mais conveniente anotando-se as suas respostas para cada tarefa de classificação.

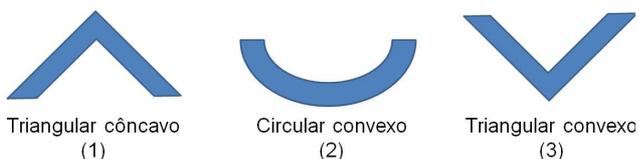


Fig. 6. Diferentes formatos utilizados nos experimentos (na foto observam-se os objetos construídos e devidamente revestidos).

### D. Experimentos

Para investigar os pontos da interface proposta, foram realizados os experimentos divididos em duas etapas seguintes:

- Etapa de treinamento: Nesta etapa, foram realizados ensaios com os voluntários para que os mesmos pudessem se familiarizar com a existência de três tipos de formatos de alvos conforme apresentados na Figura 6. Cada tipo de alvo foi identificado pelo número correspondente como se verifica abaixo de cada formato na Figura 6 e essa identificação foi adotada nos experimentos. Os objetos que representam os formatos dos alvos a serem "bombardeados" pelos sinais ultrassônicos do dispositivo, foram construídos e devidamente revestidos com materiais idênticos (ilustrados pela foto da Figura 6) para evitar que os tipos de superfície influenciassem nos resultados experimentais. Também, nesta etapa, os voluntários tiveram a oportunidade de aprender a associar os sinais sonoros refletidos de cada tipo de alvo e, assim, classificar os diferentes formatos de acordo com os estímulos recebidos. Para cada associação entre o som refletido e o alvo correspondente, o responsável pela aplicação do treinamento indicou a resposta correta para que o voluntário pudesse aprender corretamente. O treinamento foi realizado até o momento em que o voluntário se sentisse seguro para passar à etapa de teste.
- Etapa de teste: Após a etapa de treinamento, o mesmo voluntário foi submetido a testes para avaliar o processo de ecolocalização natural baseada nos indícios capturados dos sinais sonoros. Nesta etapa de teste, foram realizados três conjuntos de dados. Cada conjunto consistia de dez repetições de estímulos sonoros para um tipo de formato. Assim, a tarefa do voluntário foi associar cada estímulo sonoro com o alvo apresentado aleatoriamente e classificar o objeto (alvo), perfazendo um total de trinta classificações em cada sessão. Cada sessão durou em torno de 15 minutos no total e cada voluntário participou de uma única sessão.

Voluntário I				Voluntário II				
Classe	Predita			Classe	Predita			
	1	2	3		1	2	3	
Verdadeira	1	9	2	0	1	8	4	0
	2	1	7	0	2	2	6	2
	3	0	1	10	3	0	0	8

Voluntário III				Voluntário IV				
Classe	Predita			Classe	Predita			
	1	2	3		1	2	3	
Verdadeira	1	10	0	0	1	5	0	3
	2	0	4	2	2	0	10	0
	3	0	6	8	3	5	0	7

Fig. 7. Resultados experimentais com os voluntários submetidos à classificação de formatos de objetos.

## VI. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para se obterem os primeiros resultados experimentais que possam evidenciar a viabilidade da interface proposta neste trabalho, foram convidados quatro voluntários, todos com audição normal e com as características apresentadas na Tabela I.

**TABELA I**  
**Características dos Voluntários que Participaram dos Experimentos**

Voluntário	Sexo	Idade	Ocupação
I	masculino	44 anos	engenheiro
II	feminino	31 anos	dona de casa
III	feminino	18 anos	estudante
IV	masculino	55 anos	professor

Na Figura 7 estão apresentadas as matrizes com os resultados de cada um dos quatro voluntários que participaram dos experimentos descritos na seção anterior. No cabeçalho de cada linha da matriz encontra-se indicada a classe verdadeira, ou seja, o número correto do alvo (resposta correta) apresentado para o voluntário e no cabeçalho de cada coluna encontra-se indicada a classe predita (resposta dada pelo voluntário na etapa de teste). Os valores destacados em amarelo na diagonal principal de cada matriz representam o número de acertos na classificação dos diferentes formatos apresentados na etapa de teste dos experimentos. Os demais valores da matriz representam os erros cometidos pelo referido voluntário na classificação.

**TABELA II**  
**Desempenho (taxa de acerto) de cada Voluntário nos Experimentos para Classificação de Formatos (objetos)**

Formato	Vol. I	Vol. II	Vol. III	Vol. IV
Tipo 1	90,0 %	80,0 %	100,0 %	50,0 %
Tipo 2	70,0 %	60,0 %	40,0 %	100,0 %
Tipo 3	100,0 %	80,0 %	80,0 %	70,0 %
Média	86,7 %	73,3 %	73,3 %	73,3 %

## VII. DISCUSSÃO

Pela análise dos resultados das matrizes mostradas na Figura 7, verifica-se que diferentes voluntários tiveram dificuldades distintas na classificação dos formatos. Enquanto os voluntários I e II tiveram dificuldades em diferenciar predominantemente o formato 2 do formato 1 ou vice-versa, o voluntário III confundiu apenas o formato 2 com 3 ou vice-versa. Já o voluntário IV teve maiores dificuldades em discriminar os formatos 1 e 3. Tal variedade evidencia a dependência da experiência pessoal de cada voluntário na maneira de detectar os indícios sonoros que auxiliariam no processo de ecolocalização dos objetos. Ou seja, os resultados mostram que a introdução da idéia da concepção livre na interação com os alvos através da interface proposta é viável.

Pela análise da Tabela II baseada nos resultados da Figura 7, observa-se que o desempenho médio de todos os voluntários foi acima do esperado (maior que o dobro da probabilidade de amostra de 1/3). Considerando ainda que o uso original do dispositivo representado pelo K-Sonar é

apenas para detectar obstáculos durante a locomoção de deficientes visuais, os resultados podem ser considerados promissores para o desenvolvimento da interface proposta no sentido de enriquecer a interação com o aproveitamento das vantagens das técnicas de ecolocalização.

## VIII. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta uma nova interface humana baseada nas técnicas de ecolocalização. Para se analisar a viabilidade deste tipo de interface foi construído um aparato experimental constituído de um dispositivo capaz de emitir e receber sinais ultrassonoros. Utilizando-se esse aparato, foram realizados alguns experimentos com voluntários que se submeteram a sessões de treinamento e teste para classificar os diferentes formatos de objetos com os seus olhos vendados e usando apenas os seus ouvidos para captar as informações da interação.

Foram verificados que todos os voluntários superaram consideravelmente as expectativas de desempenho médio utilizando suas habilidades de ecolocalização. Além disso, comprovou-se que a interface proposta pode proporcionar aos usuários a chance de resgatar a liberdade de interagir com os alvos sem depender das concepções artificiais, diferentemente de uma interface convencional.

Portanto, os promissores resultados, ainda que iniciais, obtidos dos experimentos levaram a concluir que a proposta da nova interface humana baseada nas técnicas de ecolocalização é bastante viável.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo suporte financeiro através do projeto Demanda Universal (TEC-APQ-01344-10) do qual este trabalho faz parte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. Stebbins, *The acoustic sense of animals*, Harvard University Press, Cambridge, 1983.
- [2] D. Griffin, *Echoes of bats and men*, Anchor Books Doubleday & Co, New York, 1959.
- [3] H. U. Schnitzler and O. W. Henson, "Performance of Airborne Animal Sonar Systems: I. Microchiroptera", In: R. G. Busnel, J. F. Fish (eds), *Animal sonar systems*, Plenum Press, New York, 109-181, 1980.
- [4] D. Kish, *Evaluation of an echo-mobility training program for young blind people*, Unpublished master's thesis, California State University, San Bernardino, 1995.
- [5] S. Nomura, T. Shiose, H. Kawakami, and O. Katai, "Nonspeech Audio-Based Interfaces", *Encyclopedia of Information Science and Technology*, Information Science Reference, Second Edition, Vol. VI, pp. 2840-2849, 2009.
- [6] W. D. Jones, "Sight for Sore Ears", *IEEE Spectrum*, vol. 41, no. 2, pp. 13-14, 2004.  
J. J. Gibson, *The ecological approach to visual perception*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1986.