

# 1 Introdução

Dentro da área de realidade virtual e aumentada, uma ferramenta chave tem sido o sistema de rastreamento. É através deste tipo de sistema que se desenvolvem as melhores interfaces de interação entre o usuário e o cenário virtual. Diversas tecnologias têm sido usadas para implementá-los [23]: sonora, eletro-magnética, mecânica, óptica e híbrida (Figura 1). Porém, a tecnologia óptica é a mais utilizada por causa da disponibilidade e do baixo custo dos equipamentos necessários para montar um sistema desse tipo, além da sua característica de não poluição do campo de rastreamento com objetos como cabos e outros componentes eletrônicos.

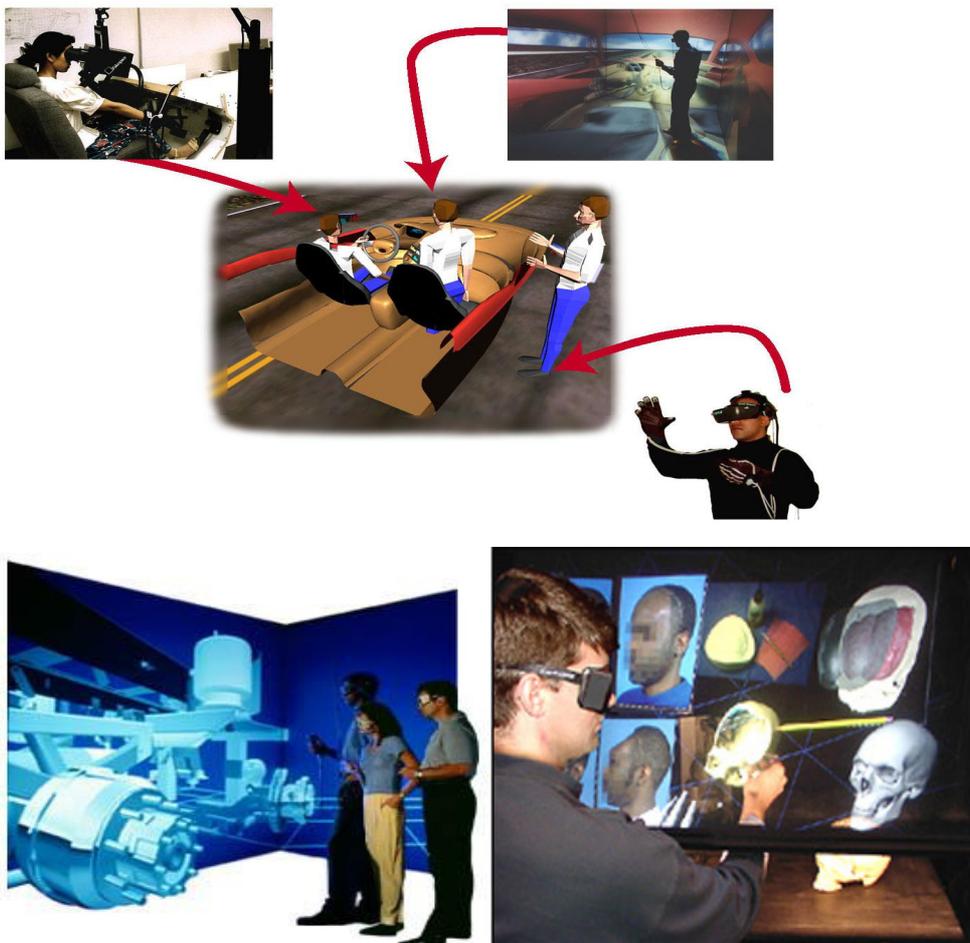


Figura 1: Aplicações de realidade virtual e aumentada.

(Fonte: <http://www.sgi.com/realitycenter/> e <http://www-vrl.umich.edu/intro/>)

Os sistemas de rastreamento óptico têm evoluído na direção de permitir o aumento do campo de rastreamento e, ao mesmo tempo, manter a precisão de captura e a recuperação da posição e da orientação 3D dos objetos rastreados. Para cumprir tal objetivo, em termos de equipamento, estes sistemas têm incrementado o número de câmeras que os compõem, com a intenção de capturar com nitidez um maior espaço real de rastreamento. Já na parte teórica, vêm-se aprofundado a pesquisa na direção de aprimorar cada vez mais o processo de calibração das câmeras. A otimização do processo de calibração permitiu melhorar a precisão do sistema, criando um vínculo direto entre esses dois aspectos: hardware e software. Por esse motivo, o processo de calibração é considerado o coração do funcionamento dos sistemas de rastreamento óptico, e a precisão alcançada no cálculo da posição 3D dos objetos rastreados está diretamente relacionada a uma correta e precisa calibração das câmeras em relação à área comum de rastreamento.

### **1.1. Motivação**

A motivação deste trabalho de tese surgiu de uma pesquisa que começou analisando os diversos componentes e processos que determinam o funcionamento de um sistema de rastreamento óptico (Figura 2). Nossa intenção é montar um sistema de múltiplas câmeras sobre o qual implementaremos um sistema de rastreamento óptico. Esse tipo de sistema é muito utilizado na implementação de aplicações de realidade virtual e aumentada, e seu objetivo é o cálculo e a extração da posição 3D de pontos ou marcadores específicos que aparecem dentro do campo de visão de pelo menos duas câmeras. Com essa informação é possível criar artefatos, formados por marcadores reconstruídos no espaço de rastreamento, com os quais modelaremos eventos de interação entre o usuário e a aplicação.

Um aspecto fundamental para a precisão dos sistemas de rastreamento óptico é o método de calibração aplicado sobre as múltiplas câmeras. Com base no resultado da calibração é feita a reconstrução precisa da posição 3D dos marcadores rastreados. Foi analisando diversos métodos descritos na bibliografia sobre o tema de múltipla calibração de câmeras que encontramos alguns aspectos que poderiam ser melhorados, foi assim que surgiu a proposta de implementação de um novo método de múltipla calibração de câmeras que seja mais robusto que

os atuais e gere resultados melhores que os dos métodos encontrados na bibliografia.

A compilação inicial das informações sobre o processo de calibração de câmeras nos permitiu também entender e modelar melhor as etapas e os processos nucleares que compõem esse processo, a partir de um ponto de vista global.



Figura 2: Sistemas de rastreamento óptico.

(Fonte: <http://blog.digitalcontentproducer.com/briefingroom/2009/01/28/uc-merced-adopts-vicon-f40-motion-capture-system/>)

Como produto dessa compilação, conseguimos determinar alguns aspectos em comum presentes na maioria dos métodos, corroborando trabalhos prévios sobre o tema como o descrito por [19], e que neste trabalho será estendido para analisar o caso de múltipla calibração de câmeras. Esses aspectos semelhantes são modelados e definidos em três etapas básicas comumente encontradas na maioria dos métodos de calibração, tanto individual [19] como de múltiplas câmeras:

1. Aquisição de dados para calibração, definido pelo uso de diferentes tipos de padrões e técnicas de processamento de imagem usados na captura e recompilação de dados de entrada para o sistema de calibração.
2. Calibração inicial, correspondente ao cálculo inicial dos parâmetros que serão usados para modelar as características internas, a posição e a orientação das câmeras que formam nosso sistema.
3. Otimização dos valores calculados inicialmente para os parâmetros de calibração das câmeras.

A análise das vantagens e desvantagens dos diversos componentes de cada uma das três etapas acima permitiu conceituar melhor a estrutura do novo método de múltipla calibração de câmeras que propomos neste trabalho. Como produto da análise desses componentes, já na primeira etapa, propomos um novo tipo de padrão de calibração que traria algumas vantagens em comparação a outros padrões semelhantes. A proposta desse novo padrão surgiu de uma pesquisa feita sobre a modelagem de artefatos usados pelos sistemas de rastreamento óptico como padrões de rastreamento para interação [16], baseado nesse estudo trouxemos a ideia deste novo tipo de padrão de calibração descrito como um padrão invariante a uma projeção 3D para 2D, e o seu formato é definido por um grupo de quatro marcadores colocados colinearmente [16].

Finalmente, a nossa motivação se definiu melhor pelo objetivo de criar e propor um novo método para múltipla calibração de câmeras que trouxesse como contribuição direta o uso desse tipo de padrão de calibração, que já na primeira etapa de aquisição de dados propõe ser melhor em comparação a outros padrões encontrados na bibliografia. Percebemos também que o formato desse tipo de padrão contém informações adicionais que poderiam ser muito bem exploradas por outro componente do processo de calibração, relacionado à terceira etapa do mesmo processo: a otimização dos parâmetros de calibração. Com essas duas contribuições em mente, este trabalho pretende descrever um novo método de múltipla calibração de câmeras que será descrito ao longo desta tese.

## 1.2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é a criação e implementação de um novo método de múltipla calibração de câmeras, que seja:

- Flexível em relação ao número e ao tipo de câmeras usadas no sistema.
- Rápido e simples de executar por parte do usuário.
- Robusto para conseguir sempre uma calibração válida entre as câmeras.
- Preciso na recuperação do posicionamento e das medidas de objetos rastreados.

- Capaz de obter como produto da calibração final resultados comparáveis, e em alguns casos melhores, aos dos sistemas acadêmicos e comerciais descritos na bibliografia.

Para cumprir esse objetivo, o método desenvolvido terá como novidade principal a proposta de um novo tipo de padrão de calibração que, apesar da sua estrutura simples, tem muita informação implícita no seu formato que pode ser facilmente extraída e explorada na busca de melhores resultados nas diferentes etapas do processo de múltipla calibração de câmeras.

### 1.3. Contribuições

O trabalho apresentado nesta tese de doutorado traz como principal contribuição a proposta de um novo método de múltipla calibração de câmeras. O método propõe o uso de um novo tipo de padrão de calibração, que tem características inerentes a seu formato que permitem dar maior robustez ao processo de captura e reconhecimento do padrão, e isso está diretamente relacionado à etapa de aquisição de dados para calibração. Essas características são também decisivas para alcançar bons resultados, melhores que os de outros métodos propostos na bibliografia sobre múltipla calibração de câmeras.

Para poder mostrar as vantagens e contribuições específicas que nossa técnica oferece, este trabalho definirá um framework conceitual que nos ajudará a descrever e dividir claramente as etapas e os processos em comum encontrados na descrição dos diversos métodos de múltipla calibração de câmeras, além de facilitar a descrição de nosso método e de outros métodos analisados no capítulo de trabalhos relacionados. O framework também apoiará a especificação das comparações apresentadas no capítulo sobre resultados, no qual serão apresentadas quantitativamente as vantagens e contribuições do nosso método.

Uma contribuição específica é a proposta de um formato diferente de padrão de calibração, importante parte do nosso método, cujas características físicas são bem exploradas. Trata-se de um padrão invariante a projeção 3D-2D e apresenta uma estrutura simples definida por quatro marcadores distribuídos colinearmente. Apesar da simplicidade do formato, esse padrão contém muita informação inerente à sua estrutura e que é muito bem explorada no nosso método. Nós podemos citar duas vantagens principais fornecidas pelo uso de nosso padrão.

Uma das principais vantagens do nosso padrão está relacionada com seu uso na primeira etapa do processo de múltipla calibração: a aquisição de dados. Nessa etapa, as contribuições são:

- A possibilidade de captura simultânea de mais de um padrão invariante no mesmo espaço de rastreamento.
- Maior robustez no processo de captura e reconhecimento do padrão por causa do formato e da teoria sobre características projetivas invariantes, que pode ser aplicada aproveitando o formato colinear do padrão.

Algumas vantagens diretas da captura de mais de um padrão simultaneamente no mesmo espaço de calibração são a captura de uma amostra válida de pontos de referência em um intervalo de tempo menor, assim como uma maior quantidade de pontos referenciais e a possibilidade de distribuir melhor nossa amostra de pontos tanto no espaço de calibração como no plano da imagem das diferentes câmeras utilizadas.

Outra vantagem do uso de nosso padrão colinear está relacionada às diversas informações que podem ser extraídas do seu formato. Essas informações nos permitem modelar várias funções de controle que serão usadas para montar nossa função de erro global, especialmente quando realizamos o processo de otimização final dos parâmetros de calibração previamente calculados de forma básica entre as câmeras do sistema.

#### **1.4. Organização da tese**

A estrutura desta tese é definida pelos seguintes capítulos.

No capítulo 2, será feita a descrição de alguns conceitos preliminares muito úteis para descrever e entender melhor trabalhos relacionados à nossa proposta, assim como para explicar a concepção e a implementação do novo método de múltipla calibração de câmeras apresentada como contribuição deste trabalho.

No capítulo 3, serão descritos detalhadamente alguns trabalhos relacionados ao tema de múltipla calibração de câmeras que foram selecionados por causa da inovação apresentada nas suas propostas, ajudando a descrever melhor a evolução do tema de múltipla calibração na linha do tempo. Esses trabalhos relacionados

servirão de base para modelar e comparar características específicas do processo de calibração em relação ao método proposto neste trabalho de tese.

No capítulo 4, serão expostas a estrutura e a implementação da nossa proposta, definida como um novo método de múltipla calibração de câmeras baseada em um padrão invariante. Nesse capítulo serão apresentados os detalhes da concepção e a descrição das contribuições de nosso método.

No capítulo 5, será relatada uma rotina de testes realizados usando um cenário real de múltipla calibração. Descreveremos o tipo de equipamento disponível para a execução dos testes e os resultados alcançados com a intenção de sustentar as contribuições de nosso método. Esses testes ajudarão também a detalhar melhor alguns aspectos diretamente relacionados à implementação do método.

Finalizando, no capítulo 6, serão apresentadas conclusões e propostas de trabalhos futuros.