

Espelho virtual interativo para simulação de maquiagem

Filipe Morgado Simões de Campos, Carlos H. Morimoto
Departamento de Ciência da Computação - IME
Universidade de São Paulo
São Paulo, Brasil
Email: {fmsc, hitoshi}@ime.usp.br

Abstract—A makeup simulator can be used to create interactive virtual environments which users can try makeup products in a fast, low-cost and flexible way. To succeed, such simulator should fulfill four characteristics, flexibility to apply makeup products, real-time processing, realistic simulation and be low-cost. The contribution of the project was an interaction model for a makeup simulator and an algorithm to simulate foundation, eye shadow and lipstick, both respecting the four characteristics mentioned above.

Resumo—Um simulador de maquiagem pode ser utilizado para criar um ambiente virtual interativo capaz de tornar o processo de escolha e experimentação de maquiagens algo rápido, barato e flexível. Para seu sucesso, tal simulador deve respeitar quatro critérios, a flexibilidade na aplicação dos produtos, processamento em tempo real, realismo da simulação e baixo custo. O projeto desenvolvido pode contribuir com uma proposta de um modelo de interação para um simulador de maquiagem e um algoritmo para a simulação de base, batom e sombra, ambos respeitando as quatro características citadas anteriormente.

Keywords—*makeup simulation; image processing; human computer interaction.*

Palavras-chave—*simulação de maquiagem; processamento de imagens; interação humano computador.*

I. INTRODUÇÃO

A. Motivação

A maquiagem faz parte do dia a dia das pessoas, mas experimentar e escolher tais produtos para cada ocasião pode ser um processo demorado e complexo. Um simulador de maquiagem pode ajudar uma pessoa a realizar essas tarefas de forma mais prática.

Computacionalmente, simular maquiagem continua sendo um problema desafiador como pode ser observado nos artigos apresentados em II. Comercialmente este trabalho pode ser o início da base tecnológica de um produto inovador para o mercado de cosméticos que nacionalmente fatura US\$42 bilhões tornando-se o terceiro maior do mundo e, mantendo o ritmo de crescimento atual, será o segundo maior mercado mundial até 2017 [1].

B. Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver um ambiente virtual interativo para simulação de maquiagem que permita a escolha dos produtos e aplicação desses na imagem do usuário. Tal simulador deve possibilitar que o usuário experimente um

produto de maquiagem de forma mais fácil e conveniente do que utilizando os cosméticos reais, podendo observar os resultados de forma mais rápida (sem a necessidade de preparação, além da aplicação e remoção da maquiagem ocorrerem instantaneamente) e barata (não é necessário comprar o produto ou gastar produtos já existentes).

Existem diversos cenários em que esse ambiente virtual pode ser útil. No ambiente doméstico, quando o usuário for se maquiar ele pode testar combinações de todas as maquiagens que possui antes de definir quais serão as maquiagens escolhidas para a ocasião. Ainda, ele também poderia testar outras maquiagens que não possui, mas que combinam com as que o usuário já tem, realizando uma compra *online* para utilizar na próxima ocasião. O ambiente virtual também pode ser usado na Internet permitindo a criação de novos estilos de maquiagem com a colaboração de amigos em redes sociais.

Em uma loja de produtos de maquiagem, a simulação pode ser útil para mostrar o resultado de diversos produtos, demonstrar como estes podem ser combinados entre si e ensinar ao cliente o correto uso e respectivas combinações. Além disso, pode-se destacar também que o processo de experimentar tais produtos se torna mais higiênico, já que não é necessário manusear e aplicar um mesmo produto físico em mais de uma pessoa.

Já em um salão de beleza, pode-se mostrar para o cliente como ele ficará após a aplicação das maquiagens que o maquiador está considerando, com o intuito de verificar sua satisfação antes de ser maquiado.

Outra abordagem seria utilizar o simulador como ferramenta para o treinamento de profissionais desse setor.

C. Definição do problema

Para criar o ambiente virtual do simulador de maquiagem desejado, podemos considerar duas grandes questões a serem resolvidas: a interação com esse sistema e o algoritmo responsável pela simulação da maquiagem.

Com relação à interação, o sistema deve possibilitar que o usuário se maqueie de forma semelhante ao que ele já faz com produtos reais e em um ambiente familiar. Dado que um dos locais mais comuns para se maquiar é em frente ao espelho, este foi escolhido como metáfora para a interação do simulador. Assim, o sistema funciona permitindo a escolha da maquiagem e também sua aplicação sobre a imagem da face do usuário como se ele estivesse maquiando seu reflexo no

espelho. Para que a aplicação da maquiagem seja semelhante ao que é realizado com produtos reais, o simulador deve oferecer a liberdade para que o usuário aplique a maquiagem que ele desejar em qualquer região de sua face.

Por se tratar de um espelho, a imagem a ser exibida deve corresponder ao reflexo da imagem da pessoa no espelho e portanto deve ser um vídeo e não uma imagem fixa. Isso gera dois problemas a serem resolvidos: o posicionamento da maquiagem virtual na face do usuário deve acompanhar o movimento da face (sem a necessidade de intervenção humana para marcação de pontos faciais) e também deve ser realizado em tempo real de forma que a taxa de quadros por segundo do vídeo não seja afetada.

Com relação ao algoritmo para a simulação de maquiagem, ele deve ser capaz de simular como a face do usuário ficará após a aplicação da maquiagem. Tal simulação deve mimetizar as alterações das propriedades ópticas e de textura da pele de forma convincente, já que o usuário espera ver sua imagem como se ele estivesse se vendo em um espelho. Além disso, o método deve ser capaz de ser processado em tempo real para que possa ser utilizado em vídeo, deve ser flexível para permitir a aplicação independente de diversas maquiagens por qualquer região da face do usuário e não deve requisitar o uso de equipamentos especiais que encareceriam a solução.

D. Desafios

Os desafios desse projeto são: realismo, tempo real, flexibilidade e baixo custo. Para o primeiro, a simulação de maquiagem deve alterar de forma adequada as propriedades ópticas e de textura da pele para que seu resultado seja convincente, para o segundo, a simulação de maquiagem deve ser computada rápida o suficiente para que ela possa ser usada como um reflexo de espelho, para o terceiro, a interação com o simulador deve ser natural, se assemelhando com o que as pessoas já estão acostumadas ao interagir com um espelho comum, porém permitindo escolher e experimentar diversos produtos com praticidade e, para o quarto, o sistema não deve utilizar equipamentos de alto custo.

E. O Projeto

Este projeto consiste em um espelho virtual interativo para simulação de maquiagem. Com relação à interação, foi criada uma interface que é composta por um monitor sensível a toque fazendo o papel de espelho e, posicionado acima dele, um sensor RGBD para capturar o vídeo do usuário. A interação com o sistema ocorre por meio do toque no monitor, permitindo a escolha da maquiagem desejada e também sua aplicação na imagem do espelho. A interface permite que o usuário possa aplicar a maquiagem da forma desejada em sua face criando efeitos diversos, por exemplo, intensificando determinadas regiões ou passando mais de um produto de maquiagem na mesma região. Além disso, uma vez que a maquiagem for aplicada, o sistema é capaz de manter seu posicionamento durante a movimentação da face do usuário sem que isso interfira na fluidez da imagem do espelho e sem a necessidade de marcadores.

A representação computacional de cada produto de maquiagem será chamada de *maquilet* e conterá as propriedades responsáveis pelo efeito que esse produto causa

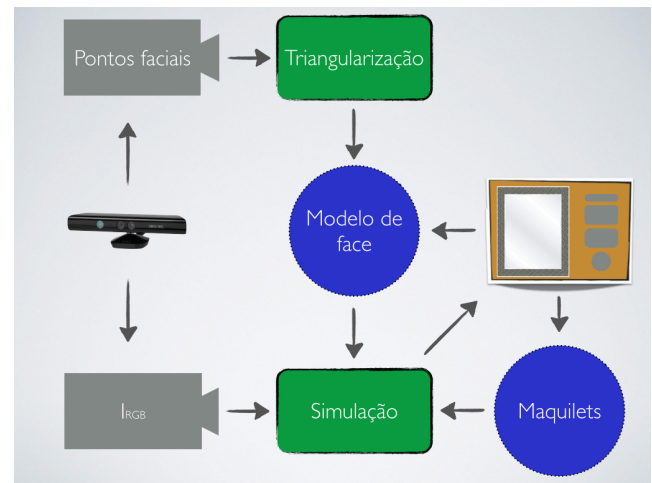


Figura 1. Arquitetura geral.

na pele. A figura 1 apresenta a arquitetura geral do sistema proposto. Nela nota-se que o sensor RGBD utilizado (ilustrado pelo Kinect) fornece dois tipos de dados (cinza), o vídeo da câmera RGB que conterá a imagem da face do usuário, I_{RGB} , e a localização de pontos faciais da face do usuário que são utilizados na triangularização (verde). Em azul, temos os modelos a serem usados na simulação, o modelo de face é criado a partir dos dados da triangularização. Já as maquiagens a serem simuladas são modeladas pelos *maquilets* correspondentes a essas maquiagens. A partir da imagem da face do usuário juntamente com o modelo de face e os *maquilets*, o módulo Simulação (verde) realiza a simulação de maquiagem na imagem da face do usuário que é exibida pela interface (laranja) possibilitando a interação do usuário com o sistema.

O objetivo com a triangularização é obter uma maneira para manter o posicionamento da maquiagem aplicada na face do usuário durante a movimentação de seu rosto. Quanto menor forem os triângulos gerados pela triangularização, mais preciso será o mapeamento da maquiagem na face do usuário. No protótipo desenvolvido, o mapeamento foi realizado atribuindo para cada triângulo cada *maquilet* que foi aplicado nessa posição e que deve ser simulado nessa região da face ocupada pelo triângulo.

Para a simulação de maquiagem, o método desenvolvido simula a aplicação de sombra, base e batom que podem ser aplicados individualmente em qualquer região da imagem da face. Além dessa flexibilidade, o algoritmo é capaz de ser computado em tempo real, não necessita de equipamentos especiais para seu funcionamento e apresenta resultados convincentes.

Para esse projeto, a simulação de maquiagem se concentrará em alterar a textura da pele e mudar sua cor. Assim, o módulo de simulação foi dividido em dois submódulos, Textura e Cor. O primeiro é responsável por tornar o tom de pele mais uniforme e suavizar ou realçar os detalhes da pele e o segundo pela introdução da cor da maquiagem.

Para a simulação da textura, a imagem da face é dividida em cinco camadas distintas, cada uma representando uma faixa diferente de frequência, sendo que o número de camadas foi obtido de forma empírica. Cada uma dessas camadas é suavizada com intensidades distintas para mimetizar o efeito

da maquiagem na textura da pele.

Para a simulação de cor, a imagem é transformada para o espaço de cor La^*b^* , já que ele se mostrou melhor para separar a informação de cor contida na imagem do que outros espaços como o RGB ou HSL. Para o La^*b^* , cada um dos canais torna-se uma camada e é tratada de forma independente. O canal L permanece como o original, já que o objetivo é alterar apenas as cores da imagem preservando sua iluminação. Para o canal a^* e b^* , é calculada uma média ponderada para cada pixel com o mesmo canal de uma imagem com a cor do *maquilet* correspondente.

F. Contribuições

As principais contribuições deste trabalho estão relacionadas com a proposta de um modelo de interação para um simulador de maquiagem e um método para simular a aplicação de maquiagens em faces em tempo real.

O modelo de interação proposto neste trabalho contempla uma interface que faz alusão a um espelho para aplicar independentemente os produtos de maquiagem desejados em qualquer região da face tocada no espelho. Por estar maquiando a imagem do usuário, o sistema deve realizar a simulação em um vídeo da imagem do usuário e deve manter o correto posicionamento da maquiagem conforme o usuário movimentar a face em frente ao espelho sem o uso de marcadores. Como descrito em II-B, foi encontrado apenas um trabalho de Interação Humano Computador que faz alusão ao espelho e simula maquiagem. Nesse trabalho o reflexo do espelho é um modelo 3D do usuário que mimetiza seus movimentos e a maquiagem é simulada nesse modelo. Além disso, existe a necessidade de marcadores para o adequado funcionamento do sistema. Ou seja, o usuário precisa passar por algumas etapas preparatórias antes de iniciar o uso do sistema como criar seu modelo 3D, que não será tão realista quanto a imagem da câmera, e posicionar marcadores.

O método para simulação de maquiagem em faces proposto neste trabalho se diferencia dos demais trabalhos descritos em II-A, pois tais trabalhos não apresentam ao mesmo tempo as quatro características do nosso método, que são: flexibilidade (permitir aplicar cada maquiagem individualmente em qualquer região da face), tempo real (rápido o suficiente para aplicar maquiagem em um vídeo), baixo custo (não necessita de equipamentos especiais) e realismo (resultado da simulação é convincente).

II. TRABALHOS CORRELATOS

Nesta seção serão apresentados trabalhos relacionados com esse projeto no contexto do algoritmo de simulação de maquiagem e da interação com o simulador de maquiagem.

A. Simulação de maquiagem

Alguns métodos já foram propostos com objetivos relacionados à simulação de maquiagem. Eles podem ser divididos em dois grupos: transferência de maquiagem e aplicação de maquiagem. Em geral, trabalhos de transferência de maquiagem se baseiam em entender o que corresponde à maquiagem em uma imagem de uma face já maquiada para transferir tal maquiagem para uma outra face. Tipicamente, tais

trabalhos têm como limitações iguais condições de iluminação e pose da face entre as imagens. Além disso, as possibilidades de maquiagem estão restritas às faces exemplos já maquiadas. Os trabalhos de aplicação, apesar de terem objetivos semelhantes a este artigo, tratam a aplicação da maquiagem de forma simples, não obtendo um realismo adequado ou então necessitam de equipamentos especiais para seu funcionamento.

1) *Transferência de maquiagem*: Seja A^* a imagem contendo uma face F com maquiagem M ; A a imagem contendo F , porém sem maquiagem e B uma outra imagem contendo uma face G , possivelmente de outra pessoa e sem maquiagem. A transferência de maquiagem é definida como o processo de compor uma imagem B^* com a face G maquiada da mesma forma que F em A^* .

Para que o procedimento seja bem sucedido, deve-se realizar apenas a transferência da maquiagem M presente em A^* para a G em B , ou seja, sardas, pintas e manchas existentes em A^* não devem estar presentes na imagem resultante da transferência, B^* , porém essas mesmas características, se existirem em B , devem ser preservadas em B^* .

O método proposto por Tong et. al. [2] usa duas imagens modelo da mesma pessoa para aprender os efeitos da maquiagem na face, uma sem maquiagem, A , e outra com maquiagem, A^* . As duas imagens necessitam das mesmas condições de iluminação e pose do rosto.

Antes da transferência de maquiagem propriamente dita, ocorre um procedimento para remoção de sobrancelha e cílios, bem como sardas, pintas e manchas na pele. Assim, o procedimento de transferência pode ser realizado sem a intervenção dessas características faciais e ao final do procedimento as características presentes em B são devolvidas para a face em B^* .

A transferência da maquiagem é computada pixel a pixel a partir de A e A^* e representa a mudança de cor e refletância da pele criada pela maquiagem após ela ser aplicada.

O método de Tong et. al. [2] necessita de uma imagem modelo com e sem maquiagem sob condições controladas de iluminação e pose. Isso torna a aplicação do método de transferência de maquiagem restrita a situações onde é possível obter imagens desse tipo. Outro ponto a ser notado é que a solução proposta se baseia em aprender a diferença de uma imagem com e sem maquiagem comparando uma com a outra, ou seja, a mudança da pele decorrente da aplicação da maquiagem para uma determinada pessoa e não um modelo genérico da maquiagem usada que poderia ser utilizado para simular a aplicação de qualquer maquiagem.

Scherbaum et. al. [3] descrevem um sistema que consiga sugerir o estilo de maquiagem que um especialista em maquiagem escolheria para uma determinada face. Para isso, foi construído um banco de dados de imagens de pessoas sem e com maquiagem feita por um profissional para que fosse possível aprender como esse profissional trabalha cada face e também o efeito causado pela maquiagem em cada uma delas. O aprendizado do efeito da maquiagem é realizado de forma semelhante ao trabalho de Tong et. al. [2], porém a aplicação da maquiagem é simulada em um modelo 3D criado a partir de padrões de luz aplicados na face da pessoa. Para esse procedimento, a imagem da face é quebrada em várias

camadas, entretanto, todas elas só podem ser obtidas com o método utilizado para a criação do modelo 3D, limitando a aplicação do método.

O método proposto por Guo e Sim [4] usa apenas uma imagem modelo, A^* , para aprender os efeitos da maquiagem na face. A dependência de condições semelhantes de iluminação e pose do rosto ainda existe, mas ocorre somente entre A^* e B .

Diferentemente do trabalho de Tong et. al, o método de Guo e Sim se baseia em analisar A^* para extrair o efeito causado pela maquiagem.

Tal processo é realizado decompondo A^* e B em três camadas, para então transferir a informação de cada camada de uma face para a camada correspondente da outra face. As camadas utilizadas são:

- Estrutura da face: Contém a disposição das características faciais como olhos, boca e nariz.
- Detalhes da pele: Contém a textura da pele incluindo falhas, sinais e rugas.
- Cor: Contém a representação da cor de forma isolada com relação às outras camadas.

Para realizar a transferência de maquiagem, a camada de detalhe da pele resultante é calculada por meio de uma soma ponderada, a camada de cor é calculada utilizando uma média ponderada e, para transferir os efeitos de destaque e sombreamento causados pela maquiagem presentes na camada de estrutura, foi adaptado um método de edição baseado em gradiente, com o objetivo de adicionar apenas as grandes mudanças presentes na camada de estrutura de A^* para B^* . Ao assumir isto, foi considerada iluminação uniforme em A^* , caso contrário esta também seria transportada para a imagem final.

Apesar do artigo de Guo e Sim [4] ir além do trabalho de Tong et. al. [2], pois tenta extrair da face modelo o que seria a maquiagem e não apenas aprender a diferença entre a face modelo sem e com maquiagem, os dois artigos tratam sobre transferência de maquiagem e assim dependem de um exemplo da maquiagem já aplicada para realizar sua simulação. Dessa forma, eles não introduziram um modelo genérico que permitisse simular os efeitos da maquiagem no rosto de uma pessoa. Ambos também necessitam que a pose da face alvo seja parecida com a da imagem modelo e ficam restritos a aplicar o estilo de maquiagem da imagem modelo, não sendo possível simular a aplicação de diferentes maquiagens de forma independente.

2) *Simulação de maquiagem*: Dhall et. al. [5] tratam sobre aplicação automática de maquiagem baseado no gênero e cor de pele da pessoa. Sobre o escopo da aplicação de maquiagem, a pele é preparada utilizando uma suavização Gaussiana seguida de uma dilatação, com o objetivo de remover pequenas marcas e sinais na pele, para então aplicar a maquiagem na face. A simulação ocorre através da modificação dos valores de matiz e saturação do espaço de cor HSV para que eles sejam os mesmos dos padrões adequados para cada gênero e cor de pele que se tem salvo em um banco de dados. Para a maquiagem nos lábios, utiliza-se para cada pixel no espaço de cor RGB uma média ponderada.

Kim e Choi [6] criaram um sistema interativo para aplicar maquiagem em um modelo 3D com feedback háptico e visão estéreo. No que diz respeito à aplicação da maquiagem, ela é feita através de uma média ponderada entre as cores da textura da pele capturada pelos *scanners* 3D utilizados no projeto e as cores da maquiagem desejada.

Huang et. al. [7] apresentam uma abordagem baseada em modelos físicos que simulam o comportamento da luz ao interagir com a pele. Para o funcionamento do método, é necessário medir propriedades ópticas da pele e das maquiagens a serem simuladas para que seus respectivos modelos possam ser criados. Tais medidas necessitam de equipamentos especiais.

Os trabalhos de Dhall et. al. [5], Kim e Choi [6], se limitam a modelar a simulação dos efeitos da maquiagem na pele com uma média ponderada no espaço de cor HSV ou RGB. Essa abordagem, em geral, não trás resultados realistas. Já o trabalho de Huang et. al. [7], apesar de ser computacionalmente eficiente quando implementado em GPU, necessita conhecer propriedades ópticas da pele em que a simulação ocorrerá para seu funcionamento. Isso requer o uso de equipamentos especiais para cada usuário, o que limita a aplicação do método.

B. Interação Humano Computador

O artigo de Kim e Choi [6] se propõe a criar um sistema interativo para aplicar maquiagem em um modelo 3D com *feedback* háptico e visão estéreo. O usuário vestiria um óculos especial para enxergar seu próprio modelo 3D em um monitor estéreo e utilizaria um dispositivo háptico para interagir com o modelo, sendo que esse dispositivo faria o papel de, por exemplo, um pincel de maquiagem utilizado na aplicação do cosmético. O modelo 3D da face da pessoa é adquirido com escâneres 3D comerciais que captam a nuvem de pontos e textura da face. O sistema simula aplicação de base, maquiagens coloridas e brilho labial utilizando a pressão feita no dispositivo háptico para determinar a quantidade de maquiagem a ser aplicada. Também é possível remover a maquiagem aplicada.

No artigo de Iwabuchi et al. [8], os autores se propõem a criar um espelho inteligente de maquiagem com o objetivo de tornar o processo de aplicação desses produtos mais fácil e divertido. Tal sistema não contempla simulação de maquiagem, sendo apenas um espelho com funcionalidades a mais do que um espelho comum para auxiliar o usuário durante a aplicação da maquiagem.

No artigo de Rahman et al. [9], os autores se propõem a desenvolver uma interface para um espelho inteligente de maquiagem que torne o momento da escolha desses produtos algo mais conveniente e eficiente. Assim, foi desenvolvido um sistema chamado pelos autores de *sensory augmented smart interaction mirror* (SIM), que contempla um monitor fazendo o papel de espelho juntamente com a simulação da maquiagem escolhida pelo usuário, além da sugestão de outros produtos de maquiagem como, por exemplo, com menor preço, baseado no histórico de produtos provados. A imagem da face da pessoa apresentada no espelho é um modelo 3D que mimetiza em tempo real os movimentos feitos pelo usuário ao utilizar o

sistema. Tal modelo precisa ser criado antes de se utilizar o SIM.

Para seu funcionamento, o sistema possui uma câmera comum para capturar a imagem do usuário e uma câmera infravermelha utilizada para rastrear a face (são colocados dois emissores de infravermelho, um em cada orelha do usuário) e as mãos do usuário (são colocados emissores de infravermelho nos produtos). Para obter a informação de que produto o usuário deseja aplicar, todos os produtos utilizados no sistema possuem um marcador RFID. Assim, quando o usuário quer usar o produto, ele o aproxima do leitor RFID para que o sistema carregue a textura adequada para essa maquiagem.

O trabalho de Hanafusa et al. [10] se propõe a desenvolver um sistema de maquiagem que tenha uma interface adequada para portadores de deficiência visual. Assim, foi desenvolvido um sistema que ensina deficientes visuais a aplicar maquiagem por meio de instruções sonoras, verifica se o batom foi aplicado corretamente e também verifica o formato da sobrancelha após a maquiagem. Para verificar a correta aplicação da maquiagem, o sistema compara a imagem depois da aplicação do produto com uma imagem capturada sem maquiagem ou com ela aplicada corretamente para verificar se existem diferenças indesejáveis.

No artigo de Nakagawa et al. [11], tem-se como objetivo propor um sistema que ajude o usuário a experimentar novos métodos e variações de maquiagem com os produtos utilizados no dia a dia. Criou-se então um aparato chamado de Sistema Inteligente de Maquiagem (*Smart Makeup System, SMS*) para facilitar o compartilhamento entre amigos de seus históricos de maquiagens por meio de fotos ou informações sobre os produtos utilizados. O sistema é composto por três espelhos, um ao centro, um à esquerda e o da direita com um espaço no centro com um monitor e uma câmera USB. Além disso, existe um leitor de RFID na cesta de produtos, um computador e uma lâmpada no topo do espelho central.

C. Resumo

Para o contexto do algoritmo de simulação de maquiagem, podemos analisar a tabela I. Nela pode-se perceber que nenhum dos trabalhos abordados possui ao mesmo tempo as quatro características desejadas para o método de simulação de maquiagem que são: flexibilidade, baixo custo, realismo e tempo real. Na tabela, o critério de “Flexibilidade” diz respeito à possibilidade de aplicar uma maquiagem qualquer desejada pelo usuário em qualquer região da face, ou seja, a aplicação da maquiagem não está presa a um estilo ou produtos de maquiagem específicos. O critério de “Baixo custo” significa que o algoritmo para simular a maquiagem requer ou não o uso de algum equipamento especial (o artigo pode ter usado um dispositivo especial como em [6], mas ele não era estritamente necessário para o funcionamento do algoritmo). Para ser considerado “Realista”, o artigo deve apresentar resultados convincentes para a simulação e quanto ao critério “Tempo real”, o artigo deve descrever que seu algoritmo pode ser computado em tempo real.

Com relação aos dois principais artigos que tratam sobre transferência de maquiagem, apesar do artigo [4] ir além do trabalho [2], pois tenta extrair da face modelo o que seria a maquiagem e não apenas aprender a diferença entre a

face modelo sem e com maquiagem, os dois artigos tratam sobre transferência de maquiagem e assim dependem de um exemplo da maquiagem já aplicada para realizar sua simulação. Dessa forma, eles não introduziram um modelo genérico que permitisse simular os efeitos da maquiagem no rosto de uma pessoa. Ambos também necessitam que a pose da face alvo seja parecida com a da imagem modelo e ficam restritos a aplicar o estilo de maquiagem da imagem modelo, não sendo possível simular a aplicação de diferentes maquiagens de forma independente. Essas características relacionadas à transferência de maquiagem também estão presentes no trabalho [3], já que a simulação é baseada no método descrito em [2].

Quanto aos outros artigos, os trabalhos [5] e [6], se limitam a modelar a simulação dos efeitos da maquiagem na pele com uma média ponderada no espaço de cor HSV ou RGB. Essa abordagem, em geral, não trás resultados realistas. Já em [7], apesar de ser computacionalmente eficiente quando implementado em GPU, necessita conhecer propriedades ópticas da pele em que a simulação ocorrerá para seu funcionamento. Isso requer o uso de equipamentos especiais para cada usuário, o que limita a aplicação do método.

Para o contexto da interação do simulador de maquiagem, podemos analisar as tabelas II e III. Na primeira tabela temos o comparativo com características da interação que estão relacionadas com a simulação de maquiagem e na segunda tabela temos algumas outras características importantes a serem consideradas.

Na tabela II temos a coluna “Simula maquiagem”, nela indicamos se a interface proposta possui ou não a simulação de maquiagem. Para “Aplicação”, diferenciamos os trabalhos que permitem aplicar uma maquiagem virtual qualquer livremente pela face dos que não permitem isso, nessa característica tivemos um trabalho que não tornou claro em seu texto como que a maquiagem era aplicada, então ele foi marcado como N.E. (Não Especificado). “Apresentação” significa a forma com que a imagem do usuário é apresentada para ele, ela pode ser por meio de um modelo 3D ou a própria imagem do usuário captada utilizando uma câmera. Quanto à coluna “Marcadores”, esta especifica se o artigo utilizou algum tipo de marcador para rastrear a face ou algum outro objeto de interesse. Por fim, a coluna “Pronto para uso” esclarece se é possível usar a interface proposta imediatamente ou se é necessário algum processo de calibração ou criação de modelos antes de começar o uso do sistema.

Na tabela III temos a coluna “Alusão ao espelho”, nela indicamos se a interface proposta faz uso ou não da metáfora do espelho para a interação. Para o critério “Social”, indicamos os trabalhos apresentam recursos sociais como compartilhamento de fotos, sugestão e avaliação de maquiagens utilizadas por outros usuários. “Sugestão de produtos”, significa que o modelo de interação proposto continha a sugestão de maquiagem para o usuário. Quanto à coluna “Custo”, esta especifica o custo do projeto de acordo com os equipamentos utilizados, sendo que foi classificado como baixo custo os projetos que utilizaram apenas um computador e uma câmera simples (até dois mil reais), médio os que utilizaram outros sensores de custo não elevado, além do computador e câmera (até três mil reais), e alto para os que utilizaram equipamentos de custo elevado (maior que três mil reais). Por fim, a coluna Deficientes

TABELA I
COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS PARA SIMULAÇÃO DE MAQUIAGEM.

Trabalho	Tipo	Flexível	Baixo custo	Realista	Tempo real
[2]	Transferência	Não	Sim	Possivelmente	Não especificado
[4]	Transferência	Não	Sim	Possivelmente	Não especificado
[3]	Transferência	Não	Sim	Possivelmente	Não especificado
[5]	Simulação	Sim	Sim	Não	Sim
[6]	Simulação	Sim	Sim	Não	Sim
[7]	Simulação	Sim	Não	Possivelmente	Sim

TABELA II
PRIMEIRO COMPARATIVO ENTRE OS TRABALHOS SOBRE INTERAÇÃO NO CONTEXTO DE SIMULAÇÃO DE MAQUIAGEM. N.E. SIGNIFICA NÃO ESPECIFICADO NO ARTIGO.

Trabalho	Simula maquiagem	Aplicação	Apresentação	Marcadores	Pronto para uso
[6]	Sim	Sim	Modelo 3D	Não	Não
[8]	Não	-	Imagem	Sim	Sim
[9]	Sim	N.E.	Modelo 3D	Sim	Não
[10]	Não	-	Imagem	-	Sim
[11]	Não	-	Imagem	-	Sim

TABELA III
SEGUNDO COMPARATIVO ENTRE OS TRABALHOS SOBRE INTERAÇÃO NO CONTEXTO DE SIMULAÇÃO DE MAQUIAGEM.

Trabalho	Alusão ao espelho	Social	Sugestão de produtos	Custo	Deficientes
[6]	Não	Não	Não	Alto	Não
[8]	Sim	Sim	Não	Médio	Não
[9]	Sim	Não	Sim	Médio	Não
[10]	Não	Não	Não	Baixo	Sim
[11]	Não	Sim	Sim	Médio	Não

esclarece se o projeto possui alguma abordagem que auxilie portadores de deficiência.

O modelo de interação proposto neste trabalho contempla uma interface que faz alusão a um espelho para aplicar independentemente os produtos de maquiagem desejados em qualquer região da face tocada no espelho. Por estar maquiando a imagem do reflexo do espelho, o sistema deve realizar a simulação em um vídeo da imagem do usuário e deve manter o correto posicionamento da maquiagem conforme o usuário movimentar a face em frente ao espelho sem o uso de marcadores. Ao analisar a tabela, logo pode-se perceber que existe apenas um trabalho que faz alusão ao espelho e também simula maquiagem, [9]. Nesse trabalho o reflexo do espelho é um modelo 3D do usuário que mimetiza seus movimentos e a maquiagem é simulada nesse modelo. Além disso, existe a necessidade de marcadores para o adequado funcionamento do sistema. Ou seja, o usuário precisa passar por algumas etapas preparatórias antes de iniciar o uso do sistema como criar seu modelo 3D, que não será tão realista quanto a imagem da câmera, e posicionar marcadores.

O outro trabalho que realiza simulação de maquiagem é o artigo [6] que se propõe a criar um sistema interativo para aplicar maquiagem em um modelo 3D com *feedback* háptico e visão estéreo e portanto não faz alusão ao espelho. O dispositivo háptico utilizado serve para aplicar a maquiagem no modelo 3D do usuário e além dele outros equipamentos são utilizados encarecendo os custos como escâneres 3D e monitor 3D.

Entre os outros artigos, o trabalho de [8] apesar de fazer alusão ao espelho, não realiza a simulação de maquiagem. O

trabalho apresenta uma espécie de espelho com funcionalidades a mais que um espelho comum e utiliza marcadores para os objetos utilizados. O trabalho [11] tem um enfoque mais social e de recomendação de produtos. Esse artigo não usa a metáfora do espelho, já que faz uso de espelhos reais para que o usuário se maqueie de forma real e use o monitor apenas para se fotografar, compartilhar suas imagens e ver indicações de produtos. Por fim, o artigo [10] ensina um deficiente visual a aplicar a maquiagem e depois confere se ela foi aplicada adequadamente. Apesar de ser um trabalho bastante interessante, ele não se encaixa tão bem nos critérios, já que tem um enfoque diferente do tema desse trabalho.

III. SISTEMA

Neste trabalho, o termo maquiagem será utilizado para representar os produtos de maquiagem e o verbo maquiar representará a aplicação desses produtos.

Para modelar o problema de simulação de maquiagem, seja I a imagem de entrada sem maquiagem contendo a face F , R a imagem resultante após a simulação de maquiagem, M o conjunto de maquiagens a serem aplicadas e m cada uma das maquiagens pertencentes a M . Cada m corresponde à representação computacional da maquiagem real utilizada para a simulação, um *maquilet*. Além disso, seja m_α a intensidade padrão de cada *maquilet* a ser aplicado e m_{asc} a imagem correspondente à máscara que define o local de aplicação de m e suas variações de intensidade. Tanto I quanto R podem ser descritos adicionando $_{RGB}$ para designar que estão no espaço de cor RGB (I_{RGB} , R_{RGB}) ou $_{La^*b^*}$ para designar que estão no espaço de cor La^*b^* ($I_{La^*b^*}$, $R_{La^*b^*}$).

Assim, podemos definir a simulação de maquiagem como o processo que compõem a imagem R com a face F maquiada com M a partir de I , $I \xrightarrow{M} R$.

São três os tipos de maquiagens consideradas: base, sombra e batom. Cada uma possui suas características próprias e consequentemente alteram a pele de forma particular. A base é utilizada para uniformizar o tom de pele do rosto, corrigir alterações de cores e melhorar o relevo da pele disfarçando pequenas imperfeições. Para suavizar pintas, acne, olheiras ou manchas no rosto o procedimento correto seria utilizar um corretivo além da base, então não se deve esperar que toda base seja capaz de esconder todo e qualquer detalhe ou alteração do tom de pele. Existem diversos tipos de base, como *spray*, líquida, cremosa e bastão, porém não vamos nos ater às especificidades de cada um desses tipos e sim ao comportamento geral da base. Assim, este trabalho considera como base, um produto que possui como característica suavizar os detalhes faciais e homogeneizar os tons de pele de quem a utiliza, porém sem que ocorra um cobertura total da pele.

A sombra é utilizada para colorir as pálpebras. Também existem tipos diferentes de sombra, como em pó, cremosa e líquida, cada uma com suas próprias características. Porém, da mesma forma que foi feito para a base, este trabalho considera a característica geral da sombra e assim sua simulação se restringirá a introduzir cor na região aplicada.

O batom, além de colorir os lábios, pode ter função hidratante e até protetora contra o sol. Também pode-se encontrar diversos tipos de batons, alguns mais cremosos, outros mais brilhantes, mais opacos, criando um aspecto plastificado ou com maior cobertura dos detalhes do lábio. Da mesma forma que as maquiagens anteriores, vamos nos ater ao comportamento mais comum do batom e assim esse trabalho considera apenas a introdução de cor nos lábios.

A. Simulação de maquiagem

O método proposto para a simulação de maquiagem é capaz de simular o resultado da aplicação de maquiagem na pele da face em uma imagem do rosto do usuário, simulando a alteração das propriedades óticas e de textura da pele causadas pela maquiagem, o que modifica a forma com que a face é percebida.

Como ideia geral, o processo de simulação funciona decompondo a imagem da face em diversas camadas que são tratadas independentemente para simular o efeito desejado da maquiagem real. Cada camada, ou grupo de camadas, separa cada característica a ser simulada e é responsável por tratar essa questão específica.

Usando essa abordagem, pode-se isolar cada questão, como textura da pele, cor da pele, especularidade, pelos faciais e iluminação não uniforme, tratando-as de forma independente sem que uma interfira na outra. Além disso, o uso dessa abordagem facilita futuras melhorias e expansões do método, já que basta criar novas camadas, e também permite um melhor controle do equilíbrio entre qualidade da simulação e custo computacional do método, permitindo utilizar ou não utilizar determinadas camadas de acordo com a capacidade de processamento do dispositivo.

Para esse projeto, a simulação de maquiagem se concentrará em alterar a textura da pele e mudar sua cor. Assim, o módulo de simulação foi dividido em dois submódulos, Textura e Cor. O primeiro é responsável por tornar o tom de pele mais uniforme e suavizar ou realçar os detalhes da pele e o segundo pela introdução da cor da maquiagem. Dadas as características adotadas para cada tipo de maquiagem a ser simulada não será necessário realçar detalhes faciais, apenas suavizá-los, assim, não será apresentado neste trabalho o tratamento correspondente ao realce de textura.

O primeiro módulo do processo de simulação, chamado de Textura, é responsável pela suavização dos detalhes faciais e a homogeneização do tom de pele, características da aplicação de base. A partir de I_{RGB} tal imagem é dividida em cinco camadas distintas, cada uma representando uma faixa diferente de frequência, sendo que o número de camadas foi obtido de forma empírica. A imagem da camada com os detalhes faciais mais sutis, maior frequência, C_{fA} , não deve ser alterada já que esses detalhes caracterizam a face do indivíduo e também são preservados pela maquiagem real. O mesmo acontece para a imagem que representa a faixa de baixa frequência, C_{fB} , ou seja, ela também não é alterada. Assim, restam três outras faixas de frequências em que a simulação atua. Todas as suavizações seguem o referencial de intensidade estabelecido por m_{asc} , porém existe uma diferenciação entre a intensidade da suavização aplicada para cada camada. A maior suavização ocorre para a camada de frequência intermediária 3, C_{f3} , principal responsável pela homogeneização do tom de pele. A camada de frequência intermediária 2, C_{f2} , recebe uma suavização um pouco menor e a camada de frequência intermediária 1, C_{f1} , uma suavização menor do que a anterior. Com isso, consegue-se mimetizar o efeito da maquiagem suavizando os detalhes e tons de pele sem que isso resulte em uma aparência artificial. O diagrama de blocos desse módulo pode ser observado na figura 2.

Para dividir I_{RGB} em cinco faixas de frequência, é utilizado o filtro gaussiano que atua como um filtro passa baixa. Ao aplicar o filtro gaussiano em I_{RGB} , tem-se uma nova imagem $G1$. Ao subtrair $G1$ de I_{RGB} , teremos a imagem com a primeira faixa de frequência, C_{fA} , que conterà a faixa das altas frequências do espectro dessa imagem. Continuando o processo, aplicamos novamente o filtro gaussiano na imagem $G1$ criando $G2$. Ao subtrair $G2$ de $G1$, temos uma imagem correspondente a uma outra faixa de frequências intermediárias dessa imagem, C_{f1} . Repetindo o procedimento, obtém-se C_{f2} , C_{f3} e C_{fB} .

Já o segundo módulo, chamado de Cor, é responsável pela simulação da cor da maquiagem. Para isso, I é transformada para o espaço de cor La^*b^* , $I_{La^*b^*}$. Neste espaço, cada um dos canais torna-se uma camada e é tratada de forma independente. O canal L, C_L , permanece como o original, já que o objetivo é alterar apenas as cores da imagem preservando sua iluminação. Para o canal a^* , C_{a^*} , é calculada uma média ponderada para cada pixel com o mesmo canal de uma imagem com a cor do *maquilet* correspondente. De forma análoga, o mesmo procedimento é realizado para o canal b^* , C_{b^*} . Por fim, pode-se converter a imagem novamente para o espaço de cor RGB, I_{RGB} , caso seja esse o espaço utilizado na interface. O diagrama de blocos desse módulo pode ser observado na figura 3.

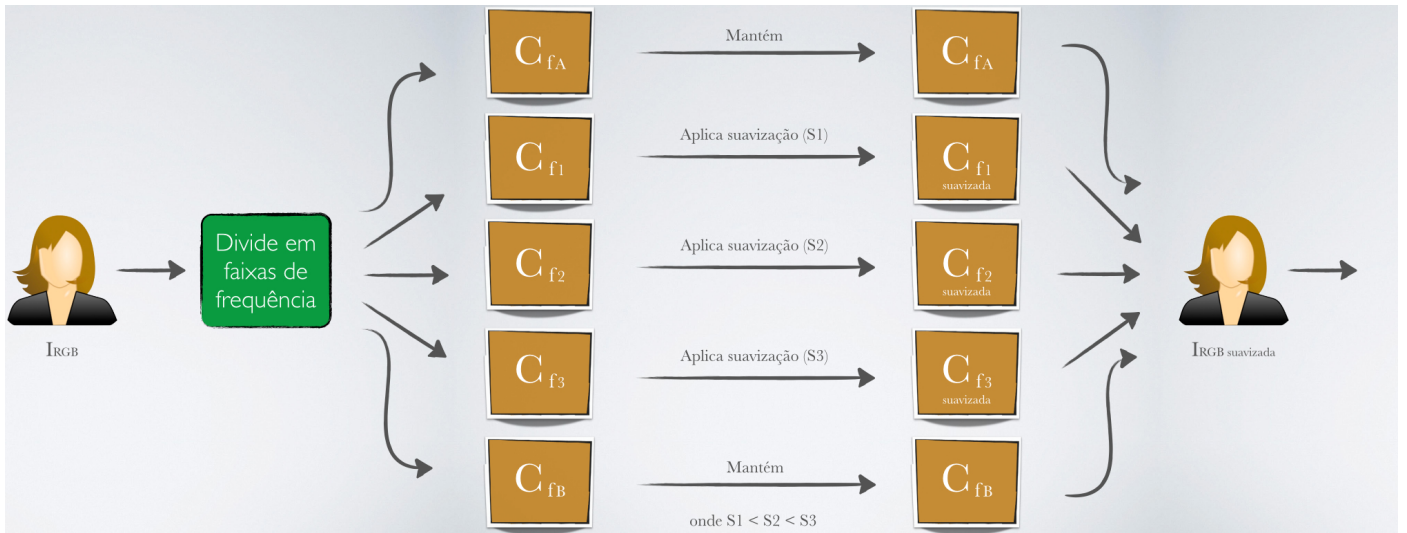


Figura 2. Fluxo da simulação de maquiagem - Textura.

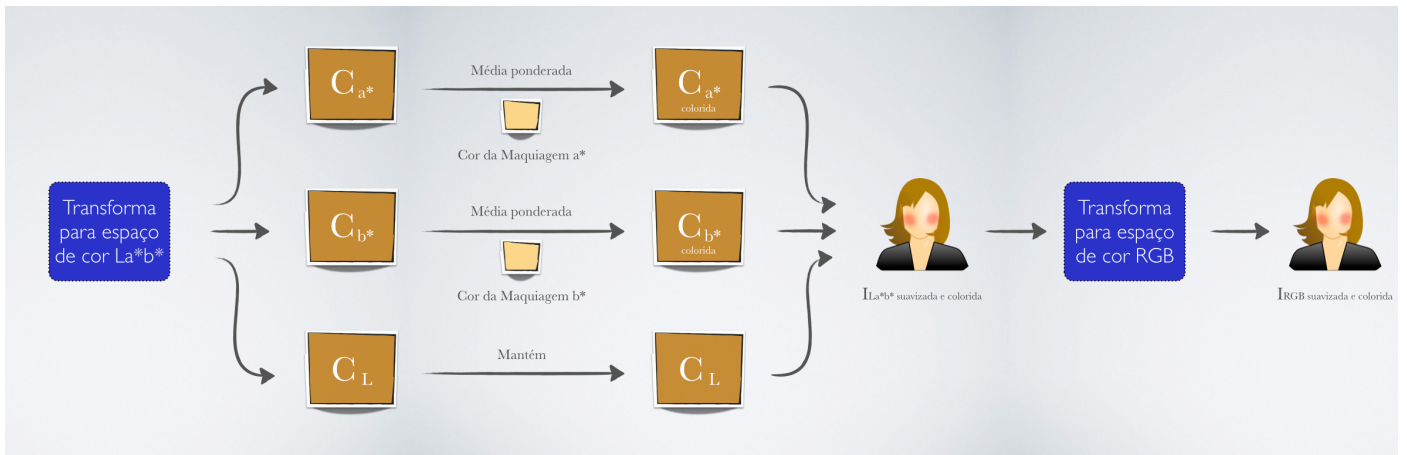


Figura 3. Fluxo da simulação de maquiagem - Cor.

A média ponderada em questão é calculada de acordo com a equação 1 onde r_p é o valor resultante para cada pixel da imagem que representa a aplicação de m , I_p o valor da cor inicial para cada pixel da imagem de entrada I e m_c o valor de cor do *maquilet* que está sendo aplicado.

$$r_p = (1 - \alpha_p) * I_p + \alpha_p * m_c \quad (1)$$

O valor de α_p não é constante para todos os pixels, pois deve acomodar o efeito da variação da intensidade da maquiagem aplicada no local, possibilitando intensificar a aplicação do produto em determinadas regiões do rosto em que a maquiagem for aplicada mais de uma vez ou então suavizar outras regiões criando degradês. O valor de α_p é calculado seguindo a equação 2

$$\alpha_p = m_\alpha * (m_{asc_p} / vmp) \quad (2)$$

sendo m_{asc_p} o valor da intensidade do pixel da máscara do *maquilet* que é criada de acordo com o tempo e número de vezes que o usuário toca a tela do monitor sensível ao

toque. Como os valores possíveis para cada pixel de m_{asc} são representados por um *byte* e o valor de m_α está compreendido entre 0 e 1, o valor do pixel da máscara foi dividido pela constante vmp (valor máximo do pixel) que vale 255 para que o valor de α_p também esteja entre 0 e 1.

Com relação à cor de m , ela pode ser escolhida livremente pelo usuário para que ele crie a maquiagem que deseja ou então ele pode escolher valores pré-determinados que simulam maquiagens reais.

Com esses dois módulos, o algoritmo criado é capaz de simular a aplicação de base, sombra e batom. A simulação para o *maquilet* de base utiliza todo o algoritmo, Textura e Cor, já os *maquilets* de sombra e batom necessitam apenas da etapa Cor, pois seu comportamento na pele afeta predominantemente as cores.

B. Interação

A interação para o simulador de maquiagem foi pensada de tal forma que ela fosse semelhante à interação que uma pessoa tem ao se maquiar utilizando um espelho. Assim, o intuito

é que o usuário seja capaz de se maquiar livremente, escolhendo os tipos de maquiagens, suas cores e intensidades para combiná-las e aplicá-las em qualquer lugar de sua face. Além da liberdade de aplicação, o aparato a ser usado deve fazer a alusão ao espelho e utilizar os equipamentos disponíveis no laboratório. Desta forma, a interface a ser desenvolvida é constituída por um computador com monitor sensível a toque e um sensor RGBD (Kinect).

Acima do monitor, posiciona-se o sensor RGBD, responsável por prover as imagens e outros dados para a simulação. O computador com monitor sensível a toque fará o papel de espelho e também exibirá a interface para a escolha da maquiagem e suas características. Para isso, a interface foi dividida em duas regiões, a região de espelho e a região de controles como pode ser observado na figura 4. Utilizando o toque na tela, pode-se escolher o produto e outras características para a aplicação da maquiagem que é realizada tocando o monitor na região do rosto desejada para sua aplicação. Caso o usuário permaneça com seu dedo em um mesmo local da face ou toque essa região múltiplas vezes, a maquiagem será intensificada proporcionalmente ao tempo ou ao número de vezes em que o local foi tocado. Para facilitar a aplicação, a região dos controles permite que o usuário possa congelar a imagem do espelho para aplicar os cosméticos. Desta forma, não existe a necessidade de manter a face imóvel enquanto a maquiagem é aplicada. Além disso, também existe a possibilidade de salvar a imagem da simulação de maquiagem, alterar entre modos de exibição (por exemplo comparar antes e depois da simulação) e definir o tipo de traçado a ser simulado por meio da escolha do produto de maquiagem, seu modo de aplicação (aplicar, suavizar, remover), instrumento, quantidade e pressão com que o produto de maquiagem será aplicado na simulação.

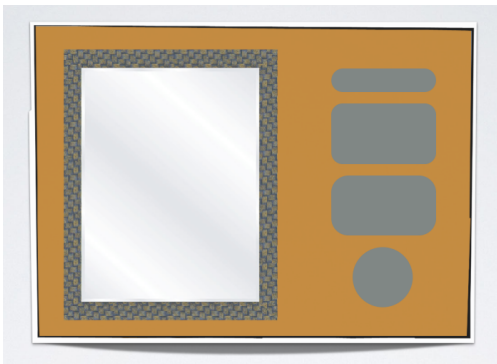


Figura 4. À esquerda a região do espelho e à direita a região dos controles.

IV. PROTOTIPAÇÃO

Para que fosse possível obter maior flexibilidade na escolha das técnicas utilizadas e conseqüentemente possibilitar a percepção de todos os detalhes da aplicação da maquiagem na pele, o ideal seria utilizar computadores de altíssimo desempenho, um sensor RGBD com grande resolução de imagem e qualidade óptica e também implementações específicas para o propósito do projeto para que se pudesse explorar todo o poder computacional e toda a qualidade de imagem disponível.

Entretanto, os recursos de tempo e de *hardware* não são ilimitados. Assim, utilizou-se como sensor RGBD o Microsoft

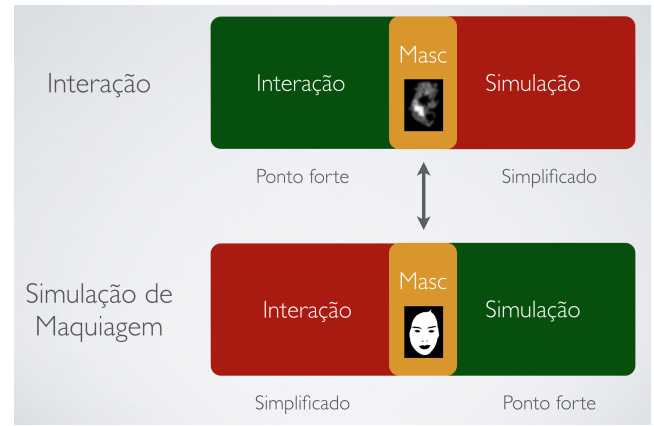


Figura 5. Pontos fortes e fracos dos protótipos da Interação e da Simulação de Maquiagem, bem como seu elo de ligação para junção dos dois protótipos em um só, quando a capacidade computacional do *hardware* permitir.

Kinect e como monitor sensível a toque um dos computadores do laboratório que possui tal funcionalidade.

Para contornar as limitações de recursos, foram criados dois protótipos: um focado no algoritmo para a simulação de maquiagem, Simulação de Maquiagem, e outro focado na interação, Interação. Portanto, a Interação utilizará um procedimento bastante simples para simular a maquiagem com o objetivo de poupar processamento e a Simulação de Maquiagem ficará restrita apenas ao método para simulação da maquiagem, também poupando processamento por não conter outros procedimentos utilizados para a interação. Nos dois casos, os protótipos foram implementados utilizando a linguagem de programação C++, bem como a biblioteca OpenCV [12] que contém diversas funções básicas de processamento de imagens e visão computacional.

Apesar de independentes, os dois protótipos são facilmente combináveis já que o sistema foi pensando como um todo e apenas separado durante a prototipação para explorar melhor os recursos disponíveis e assim demonstrar a viabilidade do projeto. O elo de ligação entre os dois protótipos são os modelos (face e *maquilets*), representados na figura 5 pela m_{asc} , necessitando apenas da evolução do poder computacional do *hardware* para que se possa unir os dois utilizando o ponto forte de cada um deles.

A. Interação

Para a prototipação do projeto, dada a separação da interação do algoritmo de simulação de maquiagem, foi necessário simplificar o módulo Simulação apresentado na figura 1 para a Interação. A simplificação consistiu em tornar o método de simulação de maquiagem computacionalmente mais econômico o que também reduziu o realismo da simulação, mas garantiu que o vídeo usado como imagem do espelho fosse fluido e permitisse a utilização apropriada da interface.

Para possibilitar a interação, foi desenvolvido um *software* específico para essa parte do projeto que deve ser capaz de:

- gerar um vídeo em tempo real para a imagem a ser usada como espelho exibindo os efeitos da maquiagem;

- simular a maquiagem de forma simplificada para economizar processamento;
- encontrar os mesmos pontos faciais em cada quadro do vídeo da imagem do rosto do usuário de forma automatizada e sem o uso de marcadores;
- gerar a triangularização baseado nos pontos faciais encontradas para a face;
- aplicar cada tipo de maquiagem independentemente dos demais permitindo sua composição interativamente.

Além disso, tem-se as seguintes limitações:

- simulação de sombra, batom e base;
- condições controladas de iluminação para que ela seja uniforme;
- usuário não usará óculos ou algum outro acessório que possa cobrir toda ou parte de sua face;
- usuário não possuirá pelos faciais cobrindo características relevantes da face;
- Kinect possui uma limitação de funcionamento em que o usuário deve ficar a pelo menos 80cm do dispositivo para que ele funcione adequadamente.

Para criar o *software* da Interação foi utilizada a versão 1.8 do SDK da Microsoft para o Kinect [13]. O sistema utiliza 82ms para cada quadro do vídeo a ser computado o que resulta em 12 quadros por segundo para o vídeo da interface. Esses resultados foram obtidos por meio de testes realizados em um *notebook* com processador Core i7 2,6GHz utilizando a imagem do próprio Kinect que possui 640x480 pixels. Para a Interação, não se fez uso de processamento paralelo para diminuir o tempo de computação do sistema.

1) *Triangularização e Modelo de face*: Como pode ser observado na figura 1 o Kinect é o sensor RGBD que fornece a imagem e os dados de rastreamento da face (pontos faciais) que são obtidos utilizando o SDK do Kinect. Com os pontos faciais e mais algumas funções do mesmo SDK, é possível obter uma triangularização inicial da face.

A triangulação obtida usando o SDK do Kinect fornece 206 triângulos espalhados por toda a face como pode ser observado nas figuras 6a e 6b. Como o objetivo com a triangularização é obter uma maneira para manter o posicionamento da maquiagem aplicada na face do usuário durante a movimentação de seu rosto, quanto maior for o número de triângulos gerados pela triangularização, mais preciso será o mapeamento da maquiagem na face do usuário. Nesse protótipo, o mapeamento foi realizado atribuindo para cada triângulo cada *maquilet* que foi aplicado nessa posição e que deve ser simulado nessa região da face ocupada pelo triângulo.

Para aumentar a precisão, os 206 triângulos foram subdivididos uma vez, sendo que, para cada subdivisão, a região era repartida em 6 novos triângulos totalizando 1236 triângulos ao final do procedimento, que podem ser observados na figura 6c e 6d. A subdivisão foi realizada da seguinte forma, dado um triângulo T , com vértices A , B e C , pontos médios X (aresta AB), Y (aresta AC) e Z (aresta BC) e com baricentro G os

triângulos formados são AGX , GXB , BGZ , ZGC , CGY e YGA . A figura 7 ilustra um exemplo de subdivisão.

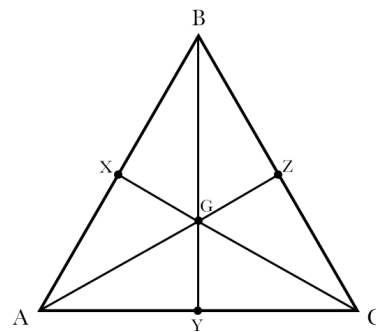


Figura 7. Um exemplo de subdivisão de um triângulo ABC.

A partir das informações sobre os pontos faciais, sua triangularização e locais de aplicação da maquiagem é construído o Modelo de face usado pela simulação de maquiagem.

2) *Simulação de maquiagem*: No módulo Simulação, é realizada a simulação da aplicação de maquiagem de forma simplificada utilizando os dados do Modelo de face e dos *Maquilets* a cada quadro do vídeo provido pelo Kinect.

Para a simulação da maquiagem deve-se criar para cada *maquilet* a ser simulado sua m_{asc} , a máscara responsável por definir o local de aplicação de m e suas variações de intensidade (figura 8a). A máscara possui as mesmas dimensões da imagem RGB do Kinect, 640x480 pixels, e define o local e a intensidade da maquiagem de acordo com o valor do pixel nesse local. Pixel com valor zero representa ausência de maquiagem e pixel com valor maior do que zero representa o oposto, sendo que o valor do pixel retrata a intensidade de m nessa posição da imagem. Então, para cada triângulo que possui um *maquilet* associado, a m_{asc} correspondente é atualizada para que seja maquiada a região delimitada pelo triângulo com a intensidade descrita pelo *maquilet*.

Caso o usuário permaneça com o dedo em um mesmo local da face ou toque mais de uma vez em um mesmo triângulo com o mesmo *maquilet*, a cor correspondente ao m dessa região será intensificada gradualmente, de acordo com o número de vezes em que a maquiagem for aplicada nesse local. Para o caso de *maquilets* diferentes em um mesmo triângulo, as cores serão misturadas, já que a aplicação da maquiagem é realizada em sequência uma para cada *maquilet*.

Para evitar possíveis imprecisões com relação a qual pixel corresponde a qual triângulo nas regiões de borda entre eles, foi aplicada a operação morfológica de dilatação em m_{asc} . Além disso, para evitar regiões de transição brusca entre as áreas que recebem maquiagem (os triângulos) e as que não recebem, foi aplicada uma suavização gaussiana em m_{asc} . Um exemplo do resultado desse procedimento pode ser visto na figura 8b.

A aplicação da maquiagem foi modelada como uma média ponderada, no espaço de cor RGB, entre o valor do pixel da imagem da face (apenas para os pixels delimitados por m_{asc}) e o valor de cor da maquiagem desejada. Por fim, a imagem resultante desse processo é exibida pela interface. Um exemplo do resultado pode ser observado em 8c.

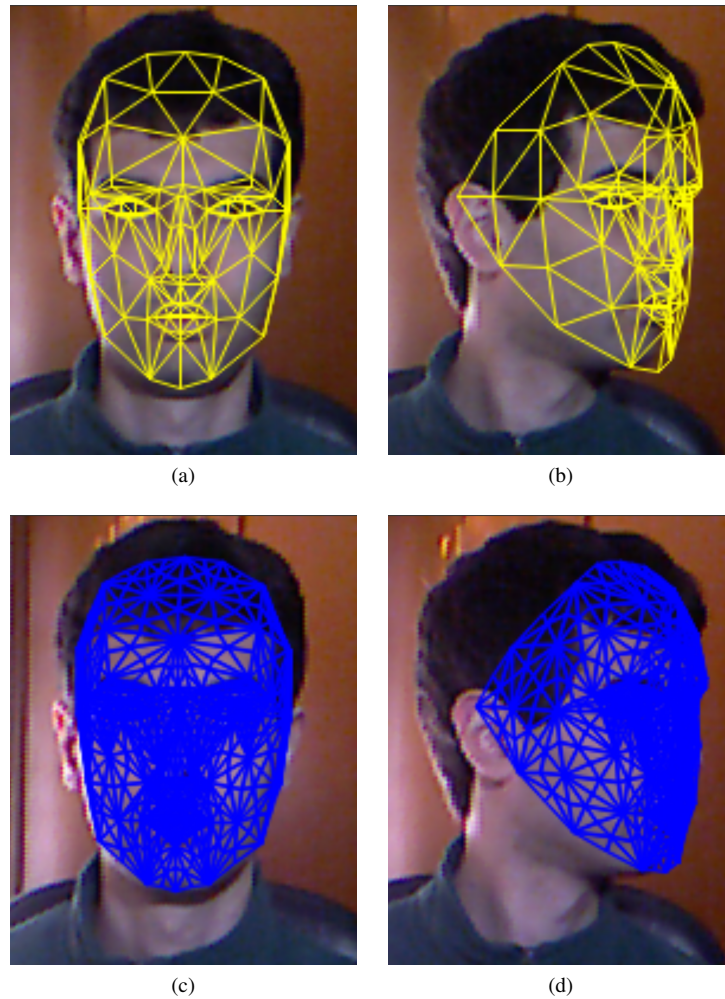


Figura 6. (a) triangularização obtida apenas com as funções do SDK do Kinect, vista frontal; (b) triangularização obtida apenas com as funções do SDK do Kinect, vista lateral; (c) triangularização final, vista frontal; (d) triangularização final, vista lateral.

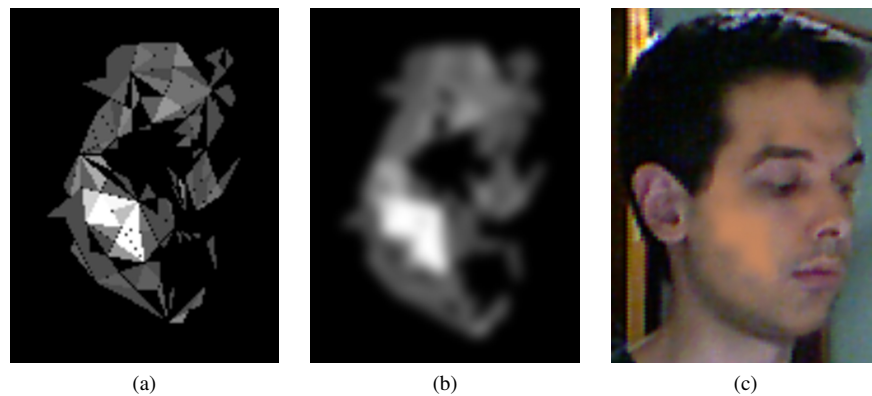


Figura 8. (a) Exemplo de máscara para o protótipo da interação criada a partir do toque do usuário na imagem da face; (b) Mesma máscara de (a) após operação de dilatação e suavização; (c) Resultado da aplicação de maquiagem para o protótipo da interação considerando a m_{asc} apresentada em (b).

3) *Interface e maquilets*: A interface do protótipo desenvolvido foi baseada em um monitor *widescreen* e portanto tem proporção de 16:9. Das 16 partes para a largura, 10 foram utilizadas para a região da imagem da face do usuário em alusão ao espelho na parte esquerda do monitor, região

do espelho, e as 6 partes restantes foram alocadas para as opções necessárias para a escolha das maquiagens desejadas e suas características, região de controles. Devido à pequena resolução da imagem RGB do Kinect, foi necessário aumentá-la em 5 vezes para que a face cobrisse toda a região dedicada

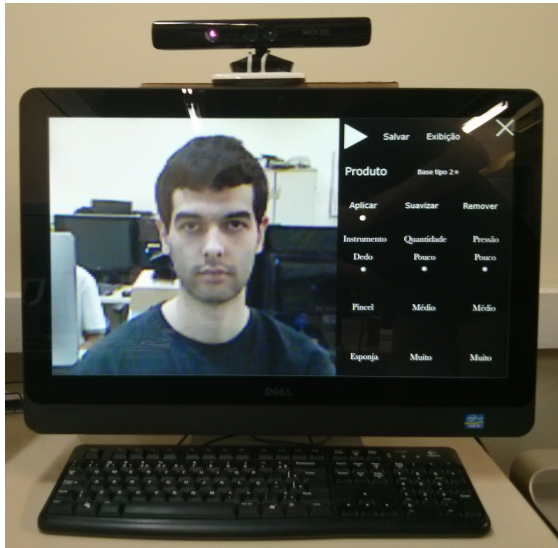


Figura 9. Disposição dos equipamentos do protótipo da interação exibindo também a região de espelho e a região de controles da interface. O teclado não é necessário para a utilização do sistema, é usado apenas durante o uso comum do computador.

a ela.

A interface apresenta as opções para todo tipo de controle necessário para simular a maneira com que a maquiagem escolhida é aplicada ou removida da pele. Para a prototipação, os esforços foram concentrados nas funcionalidades básicas, como a escolha da maquiagem e sua aplicação. A partir das escolhas relacionadas aos produtos de maquiagem que o usuário faz na interface, são criados os *maquilets* correspondentes a cada um desses produtos. Eles contêm informações do tipo de produto, cor e intensidade da maquiagem que eles representam.

Pode-se ver a disposição dos equipamentos para a interação na figura 9 e também a região de espelho e de controles da interface.

B. Simulação de maquiagem

Considerando esse módulo de forma independente do resto do sistema, algumas adaptações foram necessárias. Na imagem da arquitetura geral, 1, o módulo Simulação recebia um vídeo e fazia uso do Modelo de Face e de *Maquilets*. Agora, no lugar do vídeo temos uma imagem da face do usuário, o Modelo de Face não é utilizado já que o posicionamento da maquiagem é fixo e associado à m_{asc} , e continuamos a utilizar os *maquilets*.

Com relação à máscara m_{asc} , ela é específica para cada imagem em que se simulará a maquiagem, já que ela depende do posicionamento e morfologia da face. A máscara pode ser criada manualmente por meio da interface do protótipo desenvolvido para essa parte do sistema, permitindo que o usuário aplique a maquiagem nas regiões da face que ele desejar. Além desta forma, a máscara também pode ser criada em um programa de edição de imagens e depois utilizada no *software* desenvolvido. Isto seria útil para criar modelos padrões de maquiagem para que o usuário não tenha o trabalho de definir a região de aplicação de m realizando apenas retoques dessa máscara dentro do protótipo. A figura 10 apresenta alguns exemplos de máscaras utilizadas para o algoritmo.

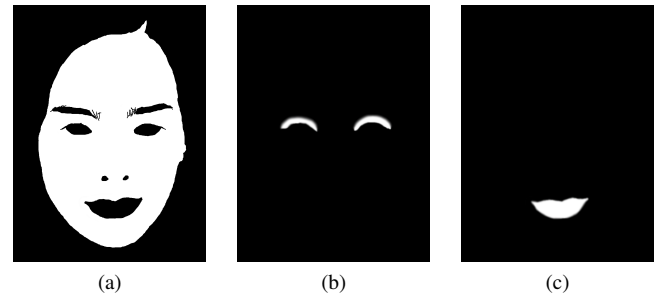


Figura 10. Exemplos de máscaras, m_{asc} , para a aplicação de cada produto de maquiagem no protótipo da simulação de maquiagem. (a) exemplo de máscara para a aplicação de base; (b) exemplo de máscara para a aplicação de sombra; (c) exemplo de máscara para a aplicação de batom.

Para que o algoritmo de simulação de maquiagem seja bem sucedido, ele deve ser capaz de simular o resultado da aplicação de maquiagem na pele da face em uma imagem do rosto do usuário. Isso simulará a alteração das propriedades óticas e de textura da pele causadas pela maquiagem. As limitações existentes são as mesmas da interação, exceto pela limitação referente ao uso do Kinect, já que ele não foi utilizado para o protótipo da simulação de maquiagem.

1) *Simulação de maquiagem - Textura*: Como explicado anteriormente, o módulo de Textura é responsável pela suavização dos detalhes faciais e a homogeneização do tom de pele. Para solucionar essa etapa da simulação, a imagem original foi dividida em algumas faixas de frequências que foram suavizadas.

Para as suavizações, tanto as responsáveis por dividir a imagem da face em faixas de frequências quanto as responsáveis pelo efeito da maquiagem, foi utilizado, no lugar do filtro gaussiano, o *box filter*. Essa substituição se deu, pois o resultado dos dois filtros são semelhantes [14], porém o tempo de computação da suavização com o filtro utilizado é menor. Isso contribuiu para que fosse possível realizar a simulação mais rapidamente sem compromisso da qualidade do resultado da simulação.

Neste módulo da simulação de maquiagem, separamos a imagem inicial em 5 camadas. Cada camada é representada por uma imagem de uma faixa diferente de frequência da imagem inicial. Devido a essa diferença de faixas de frequência, temos as camadas C_{fA} , C_{f1} , C_{f2} e C_{f3} contendo detalhes faciais dos mais sutis aos menos sutis e uma camada final, C_{fB} , que também pode ser chamada de residual, já que ela contém todo o restante da informação. Dessa forma, estamos separando detalhes faciais do resto da imagem da face para que seja possível trabalhar neles sem alterar outras características da imagem. Para voltar a formar a imagem completa, deve-se somar cada uma das camadas.

A figura 11 apresenta o resultado do procedimento de divisão da imagem em faixas de frequência. Em 11h e 11g tem-se as duas camadas que não são alteradas, C_{fB} , baixa frequência, e C_{fA} , alta frequência, respectivamente. As outras três camadas, 11a, 11c e 11e são suavizadas na simulação para atingir os objetivos citados acima para essa etapa.

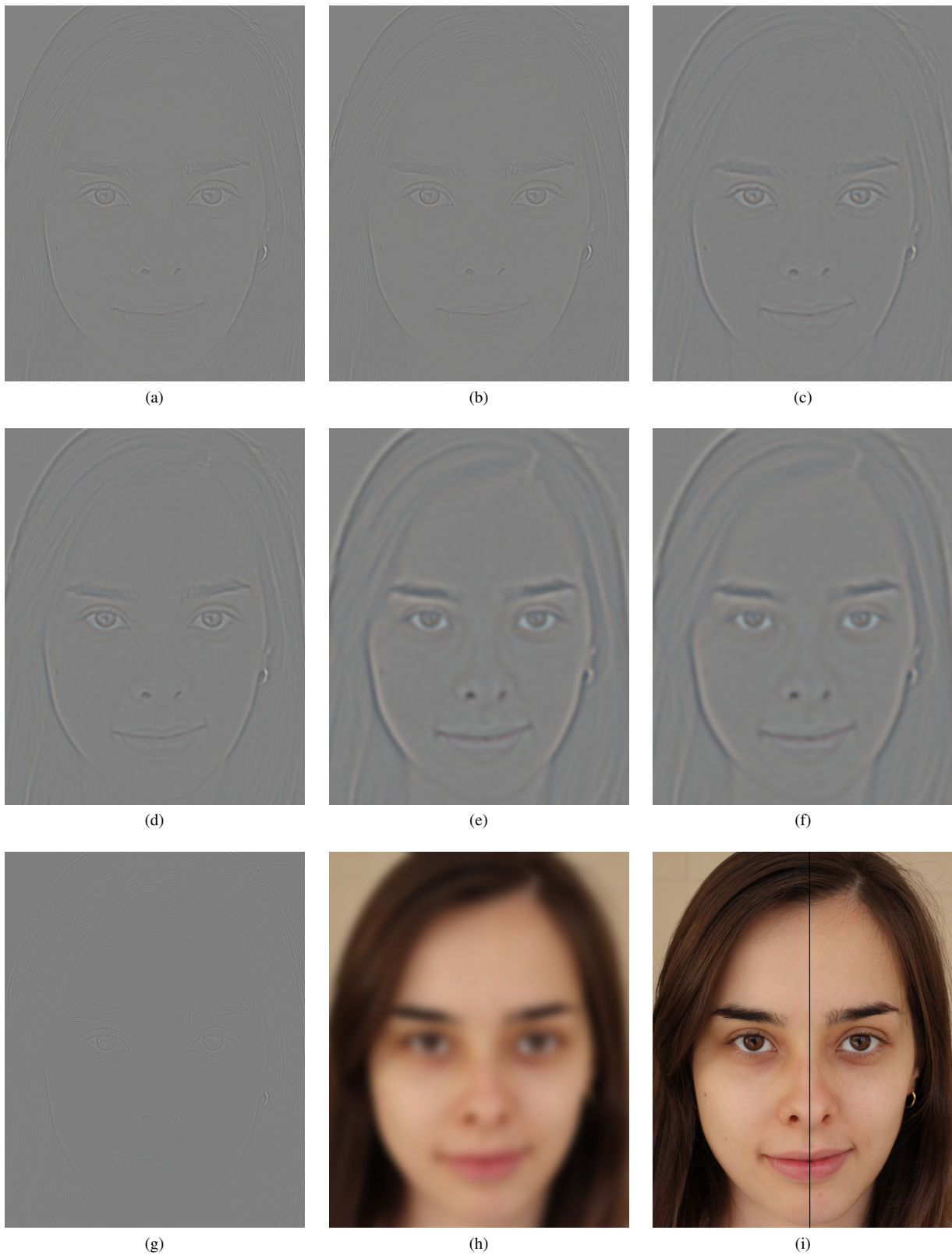


Figura 11. (a) camada de frequência intermediária 1, C_{f1} ; (b) camada de frequência intermediária 1, C_{f1} , após suavização; (c) camada de frequência intermediária 2, C_{f2} ; (d) camada de frequência intermediária 2, C_{f2} , após suavização; (e) camada de frequência intermediária 3, C_{f3} ; (f) camada de frequência intermediária 3, C_{f3} , após suavização; (g) camada de alta frequência, C_{fA} ; (h) camada residual, C_{fB} ; (i) esquerda: resultado da simulação levando em conta apenas o módulo Textura, direita: imagem original.

A camada residual, C_{fB} , representa o que resta após serem removidas quatro camadas de detalhes faciais da imagem. Assim, essa camada possui características globais da face da pessoa como a maior parte de sua cor e os traços básicos da face. Essa camada é deixada intacta já que os detalhes faciais a serem modificados não estão presentes e também não se obtém ganhos significativos de homogeneização da pele se ela fosse alterada.

A camada C_{f3} contém os detalhes faciais menos sutis. Nessa camada, detalhes como os poros faciais normalmente não são claramente visíveis, porém pode-se observar melhor as diferenças de tons de pele que são importantes para a percepção de uma pele mais homogênea. Assim, o tratamento dessa camada é o principal responsável pela homogeneização do tom de pele, para isso ela recebe a maior suavização das três camadas tratadas, já que estamos trabalhando com os detalhes mais grosseiros da face.

A camada C_{f2} contém os detalhes faciais de intensidade intermediária. Nela ainda é possível observar algumas diferenças mais sutis de tons de pele e começam a aparecer detalhes faciais menores. Nesta camada suavizamos com intensidade menor do que na camada anterior, já que as diferenças de tom de pele são mais sutis e alguns detalhes da textura da pele já estão presentes.

A camada C_{f1} contém detalhes faciais mais finos do que a anterior. A suavização a ser utilizada aqui deve ser sutil para não descaracterizarmos a face.

A camada C_{fA} apresenta os detalhes faciais mais sutis. Nela pode-se observar claramente pelos faciais, fios de cabelo, alguns contornos de regiões da face entre outras pequenas perturbações da pele. Esta camada é mantida intacta pois ela apresenta os detalhes faciais mais importantes para a caracterização da pele e conseqüentemente do indivíduo. Assim, se os detalhes forem modificados a pele perde seu aspecto natural e começa a ser percebida como manipulada artificialmente.

Os detalhes faciais que aparecem em cada uma dessas camadas dependem de cada indivíduo. Algumas pessoas possuem poros faciais que estarão mais visíveis na camada C_{f2} outras na C_{f1} , o que também vale para rugas e outros detalhes faciais. Para a simulação de maquiagem, o objetivo não é remover toda e qualquer ruga ou poro da face como é comum em fotografias de revistas. No contexto desse trabalho, estamos interessados em mimetizar o efeito da maquiagem, portanto, se aplicarmos uma base em uma face com, por exemplo, rugas muito intensas não se deve esperar que elas desapareçam, mas sim que sejam suavizadas. Dependendo de quão severa são as características faciais, elas estarão presentes em uma ou mais camadas e o efeito da maquiagem será aplicado se restringindo ao que a maquiagem real faria. O fato de decompor em camadas com detalhes de intensidades diferentes e suavizá-las com intensidades diferentes é o que contribui para se aproximar do comportamento real da maquiagem.

A figura 11 também exhibe os resultados parciais da simulação de maquiagem levando em conta apenas o primeiro módulo da simulação, ou seja, ainda sem a adição de cores. Em 11i tem-se o resultado do módulo Textura à esquerda, e à direita a imagem original, I . Em 11b, 11d e 11f as camadas C_{f1} , C_{f2} e C_{f3} após suavização.

Como pode ser observado, as imagens das faixas de frequência sofrem suavizações que abrandam detalhes faciais e ajudam a tornar mais uniforme as diferenças de tons de pele. Observando a comparação entre a imagem inicial e a final da face, nota-se que a pele está mais uniforme. Observando regiões específicas, pode-se perceber que o tom de pele está mais homogêneo principalmente na região da testa, queixo e a na região do nariz e abaixo dos olhos. Apesar dessas suavizações, ainda é possível observar pequenos detalhes faciais que caracterizam a pele e conseqüentemente a face da pessoa.

2) *Simulação de maquiagem - Cor*: O módulo Cor da simulação de maquiagem trabalha a mudança de cor que ocorre na pele. Para simularmos essa alteração, foram testados diferentes espaços de cor. A ideia para mimetizarmos o efeito de cor era alterar os canais responsáveis pela cor em cada um dos espaços de cor testados com a média ponderada definida na equação 1.

A figura 12 apresenta o resultado desse procedimento para RGB, HSL e La^*b^* , os espaços de cor testados. Nela é possível perceber que os espaços de cor RGB e HSL tiveram resultados semelhantes enquanto que o La^*b^* mostrou melhores resultados. Para o La^*b^* , pode-se notar que ele foi capaz de separar melhor a informação de cor da iluminação, o que resultou em um melhor tratamento para as regiões sombreadas, como próximo ao cabelo e olhos em detalhe na figura. Em RGB ou HSL, essas regiões se tornaram mais claras, inclusive sendo possível perceber o fim da região em que o algoritmo foi aplicado na transição da pele para o cabelo. Com isso, a face obteve um aspecto mais caricaturado, já que a iluminação natural não foi respeitada, perdendo então o realismo da simulação. Assim, o espaço de cor La^*b^* foi utilizado para esse segundo módulo da simulação.

Cada uma das camadas criadas nesse módulo pode ser vista na coluna da esquerda da figura 13, em que 13e é a camada C_L , 13a é a camada C_{a^*} e 13c é a camada C_{b^*} . Na coluna da esquerda, podemos notar a mesma camada após o procedimento da média ponderada, sendo 13b o resultado para a camada C_{a^*} e 13d o resultado para a camada C_{b^*} . Neste exemplo, a média ponderada foi realizada igualmente para toda a imagem, ou seja, sem respeitar m_{asc} . É possível perceber também que os canais correspondentes às cores não possuem a área sombreada na região da testa próxima ao cabelo, enquanto que isso se faz presente no canal L demonstrando a melhor separação entre iluminação e cor o que nos levou a melhores resultados ao utilizar esse espaço de cor.

3) *Desempenho*: Para paralelizar a execução do código, foi utilizado o OpenMP [15]. Os testes de desempenho para essa forma de paralelismo foram conduzidos em um *notebook* com processador Core i7 2,6GHz com 4 núcleos. O tempo de execução médio de todo o algoritmo para a simulação de maquiagem para uma imagem de 1018x990 pixels pode ser observado na Tabela IV.

Pode-se perceber que ocorreu um ganho significativo de desempenho com o paralelismo. O maior ganho se deu na etapa responsável pela divisão da imagem em faixas de frequências. Essa primeira etapa do módulo Textura precisava de 60ms para realizar seu processamento antes da paralelização e depois 22ms. Entretanto, nem todas as etapas do código

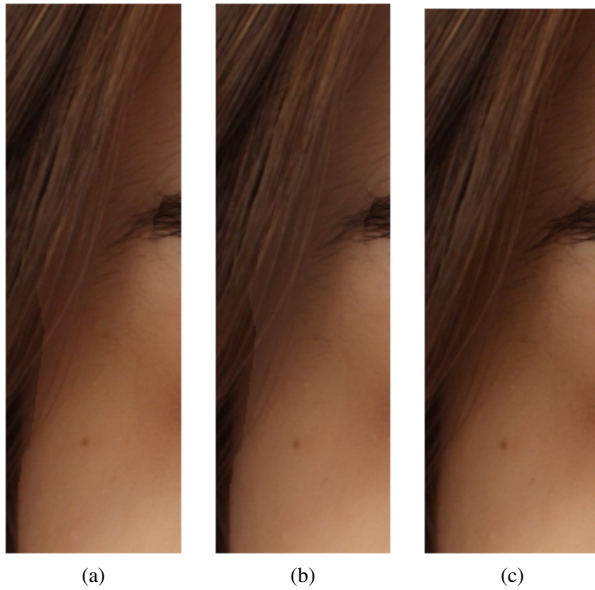


Figura 12. Resultado da simulação utilizando os espaços de cor HSL, RGB e La^*b^* . Para facilitar a visualização das diferenças entre os resultados dos três espaços de cor, foram recortados da imagem do resultado de cada uma delas a região entre o olho direito e o cabelo. (a) resultado para a simulação utilizando o espaço de cor HSL; (b) resultado para a simulação utilizando o espaço de cor RGB e (c) resultado para a simulação utilizando o espaço de cor La^*b^* .

TABELA IV

DESEMPENHO DO ALGORITMO DE SIMULAÇÃO DE MAQUIAGEM COM E SEM PARALELIZAÇÃO EM CPU PARA UMA IMAGEM DE 1018x990 PIXELS.

	Tempo (ms)	FPS
Sem paralelização	140	7
Com paralelização	83	12

foram beneficiadas já que algumas funções do OpenCV, como *cvtColor* e *bitwise_and* não obtiveram ganhos ao tentar usá-las de forma paralela. Provavelmente o OpenCV não permite que essas funções atuem de forma paralela ou a biblioteca já as implementou utilizando todo o potencial da CPU e portanto não são obtidos ganhos ao tentar paralelizá-las.

Vale ressaltar que para o contexto do módulo de Simulação de Maquiagem, estamos realizando a simulação em uma imagem do usuário e não em um vídeo. Logo, não temos a necessidade de realizar o procedimento de decomposição da imagem em faixas de frequências mais de uma vez, o que nos permite descontar do tempo total de execução o custo relativo a essa etapa que, como já foi dito, é de 22ms. Assim, temos 61ms (16FPS) para realizar a aplicação da maquiagem na imagem do usuário com 1018x990 pixels, que é um tamanho suficiente para exibir a imagem em um monitor *Full HD* descontando o espaço utilizado pelos cabeçalhos das janelas do *software*.

V. RESULTADOS

No vídeo em <https://www.youtube.com/watch?v=c-Y6xUXsfQM> pode-se observar o protótipo da interação. Na região dos controles, a primeira linha contém funcionalidades gerais do sistema como pausar a imagem do espelho, salvar a imagem do espelho, escolher modo de exibição e fechar o

sistema. Abaixo, se encontra a primeira escolha que o usuário fará no simulador, o produto de maquiagem a ser aplicado. Como isso ocorre com frequência durante a interação, sua região é grande e pode ser tocada facilmente. Para realizar a escolha da maquiagem, basta tocar no produto desejado na nova região que é exibida no meio do monitor e dispõe das opções existentes de base, batom e sombra. Após ter escolhido a maquiagem, na próxima linha o usuário poderá escolher se deseja aplicar, suavizar ou remover o produto. Dependendo de sua opção, os controles adequados aparecerão abaixo para definir a maneira com que o cosmético é aplicado na face. Para a aplicação, é possível escolher entre o instrumento utilizado para aplicar a maquiagem (pincel, esponja e dedo), a quantidade de maquiagem a ser utilizada (pouca, média, muita) e a pressão com que o instrumento seria pressionado contra a pele da face (baixa, média, alta). Para a suavização, é possível escolher o instrumento a ser usado na aplicação (porém apenas entre dedo e pincel) e a pressão, enquanto que para a remoção não existem opções a serem escolhidas. A escolha do tipo de maquiagem também pode alterar as opções disponíveis, caso algum batom seja escolhido, o usuário poderá apenas aplicar ou remover (não terá a opção de suavizar) o produto e definir apenas a pressão para a sua aplicação, já que o instrumento a ser utilizado para a aplicação desse produto é o próprio batom e a quantidade de material não é variável. Para base e sombra todas as opções estão disponíveis.

Para aplicar a maquiagem, após escolher o produto e as características para sua aplicação, basta tocar com o dedo na região da face desejada. Então, o usuário poderá aplicar os produtos de maquiagem que ele escolheu em qualquer lugar da face, inclusive combinando esses produtos ou então realçando um mesmo produto, caso ele passe o dedo mais de uma vez na mesma região. Para que a face fosse grande o suficiente para permitir a interação por meio do toque para a aplicação da maquiagem, foi necessário aumentar em cinco vezes a imagem obtida pela câmera RGB do Kinect. Devido a esse fator e à qualidade da câmera e lente do dispositivo, a imagem utilizada como espelho não possui boa aparência, mas possibilita a interação com o *hardware* disponível no momento.

Além do realismo da simulação de maquiagem para a interação não ser bom, o que era esperado já que se trata de uma simplificação e utiliza uma imagem de baixa resolução, pode-se notar formatos geométricos e também é possível perceber certa imprecisão ao aplicar a maquiagem na face ao utilizar o protótipo. Ambos, apesar de serem efeitos indesejados, são consequência do número de triângulos utilizados. Da forma com que a simulação foi proposta, quanto maior o número de triângulos na face, melhor será a precisão da maquiagem e menos triangular será sua simulação. Ao utilizar um *hardware* de melhor desempenho, pode-se utilizar mais triângulos simultaneamente mantendo ou melhorando a taxa de quadros por segundo.

Quanto ao desempenho do rastreamento de face do Kinect, ele demonstrou algumas falhas em sua precisão, mas em termos gerais teve um funcionamento adequado para mostrar a viabilidade da solução.

Na figura 14, temos o resultado da simulação para batom, sombra e base. Para a simulação de base, pode-se observar a suavização de detalhes faciais e homogeneização do tom

de pele. Os detalhes faciais e as diferenças de tom de pele foram suavizados tornando a pele mais uniforme, porém ainda é possível observar pequenos detalhes faciais que caracterizam a pele e consequentemente a face da pessoa. A adição da cor da base também ajuda a tornar a cor da pele mais homogênea se aproximando do efeito real da base. Além dos efeitos já citados sobre a base, é possível observar a adição de cor referente à sombra na região da pálpebra e do batom nos lábios. As cores da base, batom e sombra utilizados foram, respectivamente: RGB(209,153,120), RGB(177,3,4) e RGB(73,73,73).

Apesar de não definidas desta forma para esse trabalho, sombras ou batons que também possuam uma componente que altere a textura da pele, como suavizar ou realçar os detalhes faciais, também podem ser criadas utilizando a mesma arquitetura do método proposto.

Na figura 15, podemos comparar os resultados para a base obtidos com a aplicação real da maquiagem e sua simulação. A cor da base utilizada para a simulação foi RGB(144,112,89). Para obter esse tom de cor, que deve ser o mais próximo possível da maquiagem real para a comparação dos resultados, inicialmente verificou-se o valor de cor de alguns pixels do resultado da pele maquiada com maquiagem real, para então obter um valor inicial de cor para a simulação. Mais alguns ajustes de cor foram feitos até chegar no tom de cor final.

Na figura, é possível observar que o resultado da simulação utilizando o método proposto se aproxima da maquiagem real. Podemos observar também o resultado para o método sendo executado além de suas limitações, neste caso, iluminação não uniforme. Na região próxima ao nariz e logo abaixo dos lábios, em que a iluminação não estava uniforme, pode-se perceber que a região de sombra foi suavizada o que não ocorre na maquiagem real.

VI. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresenta um espelho virtual interativo para simulação de maquiagem que permite a escolha e aplicação desses produtos na imagem do usuário. Tal simulador tem como intuito possibilitar que o usuário experimente um produto de maquiagem de forma mais fácil e conveniente do que utilizando os cosméticos reais, podendo observar os resultados de forma mais rápida (sem a necessidade de preparação, além da aplicação e remoção da maquiagem ocorrerem instantaneamente) e barata (não é necessário comprar o produto ou gastar produtos já existentes). Durante o desenvolvimento do projeto, duas grandes questões foram abordadas, a Interação e a Simulação de Maquiagem, estas serão discutidos independentemente nos próximos parágrafos.

A interação com o sistema ocorre por meio do toque no monitor que faz o papel de espelho, permitindo a escolha da maquiagem desejada e também sua aplicação na imagem do espelho. A interface permite que o usuário possa aplicar a maquiagem da forma que ele quiser em sua face criando efeitos diversos, por exemplo, intensificando determinadas regiões ou passando mais de um produto de maquiagem na mesma região. Além disso, uma vez que a maquiagem foi aplicada, o sistema é capaz de manter o posicionamento da maquiagem durante a movimentação da face do usuário sem que isso interfira na fluidez da imagem do espelho e sem a necessidade de marcadores.

O protótipo desenvolvido segue as características citadas no parágrafo anterior e portanto está de acordo com o objetivo inicial do trabalho. Embora tenha sido possível contornar as limitações de *hardware* para mostrar a viabilidade da interação proposta, alguns sinais dessas limitações são perceptíveis. A imagem da face obtida com o Kinect possui baixa resolução o que degrada a qualidade da imagem observada pelo usuário. Além disso, a capacidade de processamento do computador utilizado também limitou o número de triângulos a serem usados para o posicionamento da maquiagem. Com o avanço natural dos dispositivos utilizados, ganha-se melhor qualidade de imagem e poder de processamento, o que resulta na melhoria da qualidade de imagem do espelho e também possibilita o uso de algoritmos computacionalmente mais caros melhorando o rastreamento da face, sua triangularização e consequentemente o posicionamento da maquiagem aplicada na face do usuário. Entretanto, diferentemente de outros trabalhos, a interface proposta não tem a necessidade de etapas preparatórias, como a criação de um modelo 3D da face do usuário ou uso de marcadores, e, portanto, se encontra pronta para o uso imediato do usuário.

Além da evolução do *hardware* já citada, também existem outras melhorias que podem ser realizadas em trabalhos futuros do simulador. No lugar da aplicação da maquiagem utilizando o toque no monitor, poderiam ser utilizados gestos na face, o que seria mais próximo da forma com que uma pessoa se maqueia na vida real. Outra melhoria consiste na simulação do resultado da maquiagem sob iluminação não uniforme e também diferentes tipos de iluminação como luz do sol, nublado, luz provinda de uma lâmpada incandescente ou fluorescente. Além disso, o algoritmo de rastreamento dos pontos faciais poderia ser substituído por outro método que não precisasse utilizar o Kinect, apenas uma câmera comum, o que ajudaria a diminuir o custo do projeto e abriria a possibilidade dele ser utilizado em dispositivos móveis. Por fim, podemos citar também o uso de homografia para alinhar a direção do olhar do usuário com a imagem do espelho.

Além da Interação, este trabalho apresenta um método para simular a aplicação de base, batom e sombra em uma imagem da face de uma pessoa sem maquiagem. Para realizar a simulação utiliza-se a ideia de decompor cada propriedade a ser simulada em uma ou mais camadas que podem ser tratadas independentemente. Para a simulação de base, além da simulação de cor, realizada no espaço de cor La^*b^* , foi feita uma homogeneização do tom de pele e uma suavização dos detalhes faciais por meio de suavizações em algumas camadas de faixas de frequência da imagem da face. Para batom e sombra, a simulação restringiu-se à introdução de cor nas regiões maquiadas.

Diferentemente dos trabalhos de transferência de maquiagem, nossa simulação permite a livre aplicação de tipos diferentes de maquiagem em qualquer área do rosto de forma independente, sem a necessidade de um modelo pré-existente e sem uma pose específica para o rosto (flexibilidade). Com relação aos trabalhos de simulação, nosso método vai além do que foi proposto por esses trabalhos, tornando o resultado mais realista e sem a necessidade de equipamentos especiais (custo). Além disso, o algoritmo proposto também pode ser computado em tempo real o que confere a presença das quatro características desejadas para o

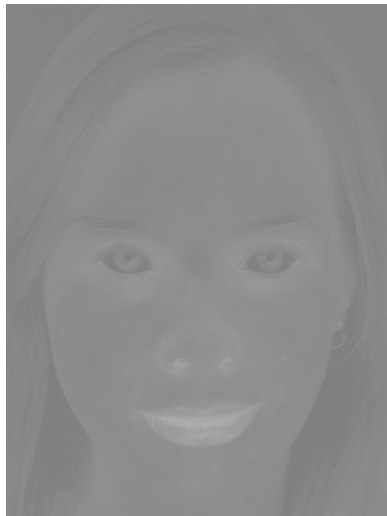
algoritmo simultaneamente atingindo o objetivo do algoritmo.

Apesar dos bons resultados, ainda existe espaço para trabalhos futuros. Ao utilizar a abordagem de camadas, novas camadas podem ser incorporadas no método proposto para abordar aspectos ainda não trabalhados como o tratamento de regiões especulares, a remoção dos pelos faciais antes da simulação da maquiagem na pele, iluminação não uniforme, tipos diferentes de fontes de luz e outros tipos de maquiagens. Também podemos citar a implementação do algoritmo em GPU para o tornar ainda mais rápido, a adição no módulo de Textura do realce da textura da pele e não somente a suavização e também um método para treinar um *maquilet* para que ele simule uma maquiagem real.

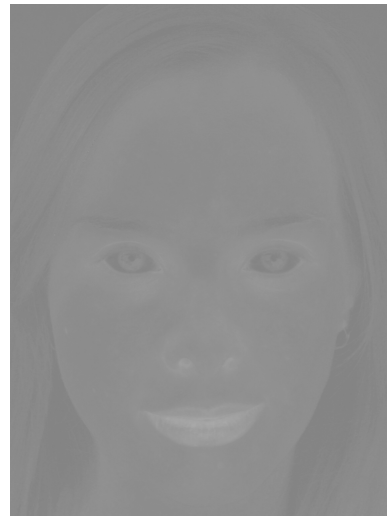
Como resultado deste trabalho, um artigo completo foi publicado no Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR) 2014 [16] e outro artigo curto foi publicado no Simpósio Brasileiro Sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC) 2014 [17]. Além disso, o trabalho teve repercussão em meios de notícias como [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29] entre outras republicações em blogs menores e é um projeto da *startup* fundada pelo autor do trabalho.

REFERÊNCIAS

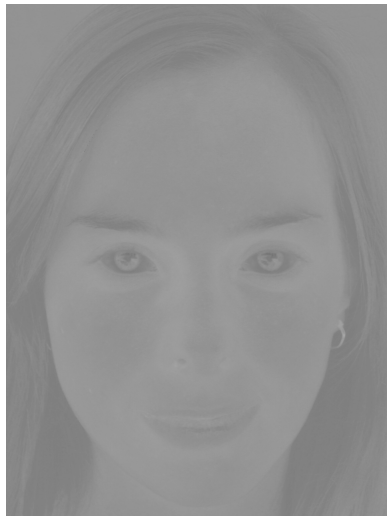
- [1] DCI, Diário Comércio Indústria & Serviços, “Mercado brasileiro de cosméticos deve ser vice-líder até 2017, aponta pesquisa,” 2013. [Online]. Available: <http://www.dci.com.br/comercio/mercado-brasileiro-de-cosmeticos-deve-ser-vicelider-ate-2017,-aponta-pesquisa-id353256.html>
- [2] W.-S. Tong, C.-K. Tang, M. Brown, and Y.-Q. Xu, “Example-based cosmetic transfer,” in *Computer Graphics and Applications, 2007. PG '07. 15th Pacific Conference on*, 29 2007–nov. 2 2007, pp. 211–218.
- [3] K. Scherbaum, T. Ritschel, M. Hullin, T. Thormahlen, V. Blanz, and H.-P. Seidel, “Computer-suggested facial makeup,” *Computer Graphics Forum*, 2011. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8659.2011.01874.x>
- [4] D. Guo and T. Sim, “Digital face makeup by example,” in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on*, june 2009, pp. 73–79.
- [5] A. Dhall, G. Sharma, R. Bhatt, and G. Khan, “Adaptive digital makeup,” in *Advances in Visual Computing*, ser. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin / Heidelberg, 2009, vol. 5876, pp. 728–736. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-10520-3_69
- [6] J.-S. Kim and S.-M. Choi, “Interactive cosmetic makeup of a 3d point-based face model,” *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E91.D, no. 6, pp. 1673–1680, 2008.
- [7] C.-G. Huang, T.-S. Huang, W.-C. Lin, and J.-H. Chuang, “Physically-based cosmetic rendering,” in *International Conference on Computer Animation and Social Agents*, 2013.
- [8] E. Iwabuchi, M. Nakagawa, and I. Siiro, “Smart makeup mirror: Computer-augmented mirror to aid makeup application,” in *Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction. Part IV: Interacting in Various Application Domains*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, pp. 495–503. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-02583-9_54
- [9] A. Rahman, T. Tran, S. Hossain, and A. El Saddik, “Augmented rendering of makeup features in a smart interactive mirror system for decision support in cosmetic products selection,” in *Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT), 2010 IEEE/ACM 14th International Symposium on*, oct. 2010, pp. 203–206.
- [10] A. Hanafusa, S. Terada, Y. Miki, C. Sasagawa, T. Ikeda, and T. Fuwa, “Makeup support system for visually impaired persons: Overview of system functions,” in *ICHP (2)*, ser. Lecture Notes in Computer Science, K. Miesenberger, J. Klaus, W. L. Zagler, and A. I. Karshmer, Eds., vol. 6180. Springer, 2010, pp. 338–345. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-14100-3_50
- [11] M. Nakagawa, K. Tsukada, and I. Siiro, “Smart makeup system: supporting makeup using lifelog sharing,” in *Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing*, ser. UbiComp '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, pp. 483–484. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2030112.2030182>
- [12] G. Bradski, “Opencv,” *Dr. Dobbs Journal of Software Tools*, 2000.
- [13] Microsoft, “Kinect for windows sdk.” [Online]. Available: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindowsdev/Downloads.aspx>
- [14] “Box blur,” dec 2013, page Version ID: 517348792. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Box_blur&oldid=517348792
- [15] O. A. R. Board, “Openmp application program interface,” May 2008. [Online]. Available: <http://openmp.org/wp/>
- [16] F. M. S. d. Campos and C. H. Morimoto, “Virtual makeup: foundation, eye shadow and lipstick simulation,” in *Proceedings of the 16th Symposium on Virtual and Augmented Reality*, ser. SVR'14, 2014.
- [17] F. M. S. Campos and C. H. Morimoto, “Interactive virtual mirror for makeup simulation,” in *Proceedings of the 13th Brazilian Symposium on Human Factors in Computer Systems*, ser. IHC'14, 2014.
- [18] TV Record, Jornal Fala Brasil, “Espelho virtual: programa simula resultado da maquiagem Edição de 1 de Maio de 2015,” May 2015. [Online]. Available: <http://noticias.r7.com/fala-brasil/videos/espelho-virtual-programa-simula-resultado-da-maquiagem-01052015>
- [19] Agência USP de Notícias, “Espelho virtual facilita escolha de produtos de beleza,” 2015. [Online]. Available: <http://www.usp.br/agen/?p=203487>
- [20] IME-USP, “Espelho virtual interativo para simulação de maquiagem,” 2014. [Online]. Available: http://www.ime.usp.br/index.php?option=com_content&view=article&id=838&catid=19&Itemid=679&lang=pt-br
- [21] USP, “Espelho virtual criado no ime tem simulação instantânea de maquiagem,” 2015. [Online]. Available: <http://www5.usp.br/88587/espelho-virtual-desenvolvido-no-ime-permite-simulacao-instantanea-de-maquiagem/>
- [22] USP Inovação, “Espelho virtual facilita escolha de produtos de beleza,” 2015. [Online]. Available: <http://uspinovacao.blogspot.com.br/2015/04/espelho-virtual-facilita-escolha-de.html>
- [23] Jornal Correio Braziliense, “E o computador se transforma em camarim. Edição de 30 de Março de 2015,” March 2015. [Online]. Available: http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/tecnologia/2015/03/30/interna_tecnologia,477507/e-o-computador-se-transforma-em-camarim.shtml
- [24] Jornal Hoje em Dia, “Espelho, espelho meu! Edição de 26 de Abril de 2015,” April 2015. [Online]. Available: <http://www.hojeemdia.com.br/bela/espelho-espelho-meu-1.314099>
- [25] CRUESP, “Espelho virtual criado no ime tem simulação instantânea de maquiagem,” 2015. [Online]. Available: <http://www.cruesp.sp.gov.br/?p=7989>
- [26] Jornal Empresas e Negócios, “Espelho virtual facilita escolha de produtos de beleza. Edição de 18 de Março de 2015,” 2015. [Online]. Available: http://www.jornalempresasenegocios.com.br/pagina_06_ed_2858.pdf
- [27] Jornal do Comércio, “Espelho virtual facilita escolha de produtos de beleza. Edição de 31 de Março de 2015,” March 2015. [Online]. Available: http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/tecnologia/2015/03/30/interna_tecnologia,477507/e-o-computador-se-transforma-em-camarim.shtml
- [28] EM.com.br, “Espelho virtual simula a prova da maquiagem,” 2015. [Online]. Available: http://www.em.com.br/app/noticia/tecnologia/2015/04/12/interna_tecnologia,636681/espelho-virtual-simula-a-prova-da-maquiagem.shtml
- [29] VDI – Associação de Engenheiros Brasil-Alemanha, “Simulador virtual de maquiagem,” 2015. [Online]. Available: <http://vdi brasil.com/home/home-atualidades-detalle/simulador-virtual-de-maquiagem/75c3308931fb756e36faa6358524de4b/>



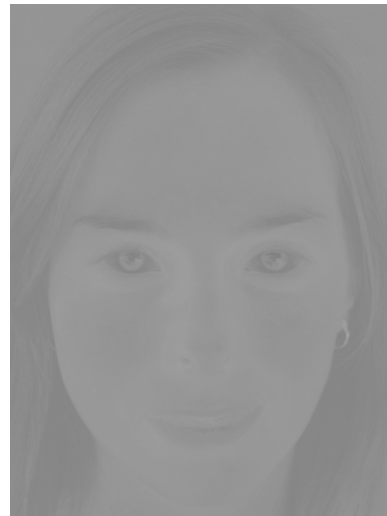
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

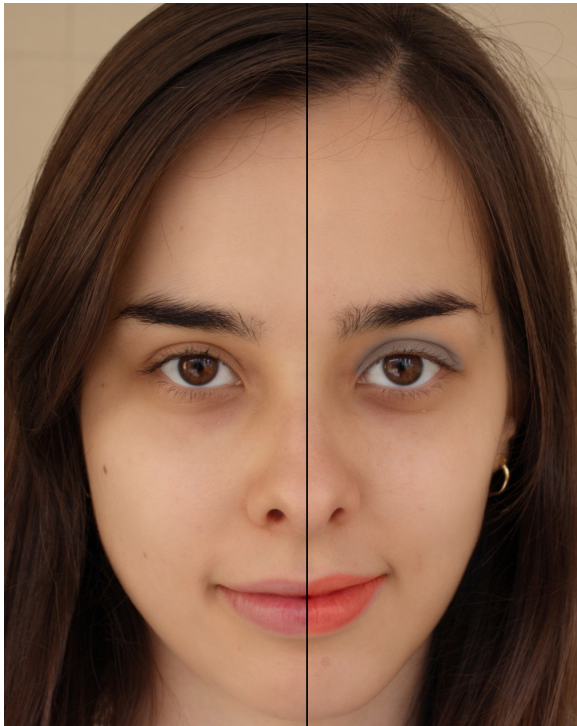
Figura 13. Camadas geradas utilizando o espaço de cor La^*b^* e resultados após média ponderada. (a) camada referente ao canal a^* , C_{a^*} ; (b) resultado da camada referente ao canal a^* após média ponderada; (c) camada referente ao canal b^* , C_{b^*} ; (d) resultado da camada referente ao canal b^* após média ponderada; (e) camada referente ao canal L , C_L .



(a)



(b)



(c)

Figura 14. Resultado da simulação para batom, sombra e base. (a) Imagem original; (b) Resultado da simulação; (c) Comparativo, lado esquerdo: original, lado direito: maquiada.



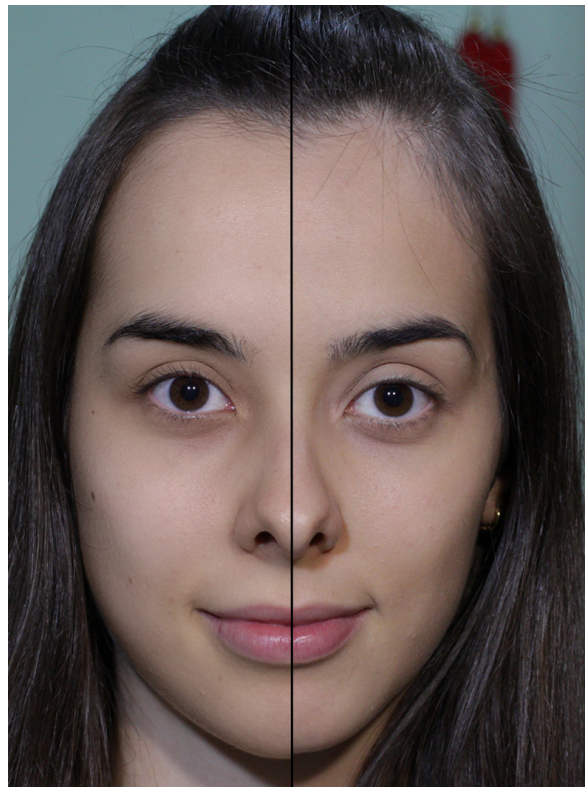
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 15. Comparativo entre o resultado da simulação e maquiagem real. (a) Imagem sem maquiagem; (b) Resultado da simulação de maquiagem; (c) Maquiagem real; (d) Comparativo, lado esquerdo: simulada, lado direito: real