UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE RIBEIRÃO PRETO

**INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL
ACELERADO SOBRE A ESTABILIDADE DE COR,
OPACIDADE E DENSIDADE DAS LIGAÇÕES CRUZADAS DE
COMPÓSITOS ODONTOLÓGICOS ARMAZENADOS EM
DIFERENTES AMBIENTES E TEMPOS DE ARMAZENAGEM**

Fabrício Mariano Mundim

Ribeirão Preto
2007

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE RIBEIRÃO PRETO**

Fabrício Mariano Mundim

**INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL
ACELERADO SOBRE A ESTABILIDADE DE COR,
OPACIDADE E DENSIDADE DAS LIGAÇÕES CRUZADAS DE
COMPÓSITOS ODONTOLÓGICOS ARMAZENADOS EM
DIFERENTES AMBIENTES E TEMPOS DE ARMAZENAGEM**

Ribeirão Preto

2007

Fabício Mariano Mundim

**INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL
ACELERADO SOBRE A ESTABILIDADE DE COR,
OPACIDADE E DENSIDADE DAS LIGAÇÕES CRUZADAS DE
COMPÓSITOS ODONTOLÓGICOS ARMAZENADOS EM
DIFERENTES AMBIENTES E TEMPOS DE ARMAZENAGEM**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Odontologia de Ribeirão Preto, da
Universidade de São Paulo, para obtenção do
título de Mestre em Odontologia

Área de concentração: Reabilitação Oral

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fernanda de Carvalho
Panzeri Pires de Souza

Ribeirão Preto

2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Mundim, Fabrício Mariano

Influência do envelhecimento artificial acelerado sobre a estabilidade de cor, opacidade e densidade das ligações cruzadas de compósitos odontológicos armazenados em diferentes ambientes e tempos de armazenagem. Ribeirão Preto, 2007.

167 p. : il. ; 30cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Reabilitação Oral.

Orientador: Pires-de-Souza, Fernanda de Carvalho Panzeri.

1. Compósito. 2. Estabilidade de cor. 3. Opacidade. 4. Densidade das ligações cruzadas. 5. Envelhecimento artificial acelerado.

MUNDIM, F. M. Influência do envelhecimento artificial acelerado sobre a estabilidade de cor, opacidade e densidade das ligações cruzadas de compósitos odontológicos armazenados em diferentes ambientes e tempos de armazenagem. Dissertação (Mestrado em Reabilitação Oral). Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.

Banca Examinadora

Aprovado em: ____ / ____ / ____

1) Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

2) Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

3) Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

*Senhor é meu pastor, nada me faltará.
Em verdes prados ele me faz repousar.
Conduz-me junto às águas refrescantes,
restaura as forças de minha alma.
Pelos caminhos retos ele me leva,
por amor do seu nome.
Ainda que eu atravessasse o vale escuro,
nada temerei, pois estais comigo.
Vosso bordão e vosso báculo são o meu amparo.
Preparais para mim a mesa à vista de meus inimigos.
Derramais o perfume sobre minha cabeça,
e transborda minha taça.
A vossa bondade e misericórdia hão de seguir-me
por todos os dias de minha vida.
E habitarei na casa do Senhor por longos dias.*

(Salmo 22)

Dedico este trabalho:

A Deus,

pai de todos nós, que em sua infinita bondade, me abençoou para alcançar e vencer mais uma etapa de vida. Agradeço ao Senhor por me fazer uma pessoa autêntica, corajosa e fiel aos meus princípios. Tua proteção e guia divina sempre serão fontes inesgotáveis de inspiração, luta e vitória.

Obrigado, meu Deus, por suas dádivas, antes de tudo, por cada dia da minha vida.

Aos meus pais Said e Marli,

exemplos de caráter, perseverança e amor incondicional. Obrigada pela presença constante, presença que sempre me incentiva a superar os obstáculos e a lutar pela vida com muito trabalho e sabedoria. Fonte de estímulos, que me impulsionaram a buscar vida nova a cada dia. Meus agradecimentos por terem aceito se privar de minha companhia pelos estudos.

Aos meus irmãos Vinícius e Flávio,

por compartilhar de maravilhosos momentos e por serem fontes inesgotáveis de alegria e companheirismo. Pelos inúmeros momentos de descontração e por sempre me apoiar e incentivar nessa jornada.

Agradecimentos Especiais

A **Prof^a. Dr^a. Fernanda de Carvalho Panzeri Pires de Souza**, pela experiência e conhecimentos adquiridos durante sua cuidadosa orientação em todas as etapas desta pesquisa e em todas as atividades que desenvolvi neste mestrado. O seu perfil profissional e ético de dedicação e compromisso com o ensino e a verdade científica mostrou-me também um exemplo a ser seguido na carreira docente. Agradeço também pelos conselhos, pela ajuda na tomada das decisões e pelos alegres momentos compartilhados juntos.

À minha família, meu avô e avós **Jamil, Iolanda e Milena**, meus tios e padrinhos **José Alfredo, Regina, Geraldo e Dalva, Aílton e Marisa**, e os primos **Aílton Jr, Mariane e Fernanda**, pelo amor e carinho durante toda a minha vida e na realização deste e dos outros projetos. Em especial ao meu primo **Carlos Augusto**, e pela eterna saudade. E todos outros familiares, mesmo não tendo sido mencionados, estão dentro do meu coração.

Agradecimentos

À Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, da Universidade de São Paulo, seus professores e funcionários, pela oportunidade de crescimento profissional e por tornar o âmbito acadêmico agradável.

Ao Prof^a. Dr^a. Helena Paranhos, Prof^a. Dr^a. Maria da Glória Chiarello de Mattos, Prof. Dr. Osvaldo Bezzon e Prof. Dr. Wilson Mestriner, pela contribuição à minha formação acadêmica.

À Prof^a. Dr^a. Luciana Casemiro e Prof. Dr. Luiz Carlos Pardini, pela alegria na troca de informações e humildade com que compartilharam seus conhecimentos e experiências.

Aos funcionários Francisco Lourenço Roselino, Edson Volta e Ana Paula Macedo, pelo suporte técnico e auxílio na conclusão deste projeto.

Aos amigos da pós-graduação Antônio Malheiros, Diogo Cruvinel, Fabiano Gamero, Hisham Hamida, Janisse Martinelli, Ingrid Machado, Patrícia Monteiro e Sílvia Domiciano, pela amizade, aprendizado, vivências e experiências compartilhadas.

Aos amigos Danilo Lattaro, Leandro Corsi e Renato Schiavoni pela grande amizade, iniciada na graduação.

À **Lais Carvalho**, pessoa de admirável beleza e pela compreensão pelos momentos de ausência durante a execução deste trabalho.

Aos amigos **Fabício Lima e Guilherme Coelho**, pelas prazerosas conversas e pelo apoio e incentivo nessa jornada.

À **Ivoclar Vivadent**, pelo fornecimento dos materiais odontológicos e pela confiança na realização de uma parceria de sucesso.

À **Domingos Facioli, Lilian Giane Franco e Márcia Framatino**, pela gentileza e disponibilização de equipamentos necessários para conclusão deste projeto.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

MUNDIM, F. M. Influência do envelhecimento artificial acelerado sobre a estabilidade de cor, opacidade e densidade das ligações cruzadas de compósitos odontológicos armazenados em diferentes ambientes e tempos de armazenagem. Ribeirão Preto, 2007. 167p. Dissertação (Mestrado em Reabilitação Oral). Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.

RESUMO

A evolução sofrida pelas resinas compostas, aliada à sua característica de restaurar a aparência natural dos dentes em relação à cor e opacidade, torna esses materiais uma das principais escolhas entre os materiais restauradores usados na odontologia. A estabilidade de cor e a opacidade assumem um papel crucial no sucesso do tratamento restaurador estético, pois a alteração destas características pode indicar a substituição das restaurações estéticas. Essas propriedades estão relacionadas ao grau de conversão desses materiais no momento da polimerização. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do envelhecimento artificial acelerado sobre a estabilidade de cor, opacidade e densidade das ligações cruzadas de compósitos armazenados por 30 e 90 dias em ambientes diferentes (temperatura ambiente/geladeira). Foram utilizados 5 compósitos odontológicos em duas tonalidades: claras e escuras. As embalagens dos compósitos foram mantidas em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) e em geladeira ($\pm 8^{\circ}\text{C}$), sendo armazenados nestes ambientes por 30 e 90 dias, para posterior confecção dos corpos-de-prova (12 mm de diâmetro / 2 mm de espessura). Sobre essas amostras, foram realizadas as leituras da alteração de cor (ΔE), opacidade (OP), e densidade das ligações cruzadas, previamente e posteriormente a realização do procedimento de envelhecimento artificial acelerado. Após análise estatística (2-way ANOVA – Tukey – nível de significância em $p < 0.05$), observou-se que compósitos QuiXfil Universal, Tetric EvoCeram C3 e SR Adoro A2, apresentaram valores para alteração de cor clinicamente inaceitável ($\Delta E \geq 3,3$). Quanto à opacidade, as resinas diretas, de tonalidades claras apresentaram menor opacidade que as tonalidades escuras enquanto que a resina indireta apresentou maior opacidade para a tonalidade clara que a escura. Quanto à densidade de ligações cruzadas, o envelhecimento artificial acelerado produziu um aumento na densidade de ligações cruzadas das resinas diretas. Concluiu-se que não houve um comportamento homogêneo dos materiais, em relação às propriedades estudadas, em função do tempo e ambiente de armazenagem sugerindo que a ação do envelhecimento é primordial e mais relevante para a alteração dos materiais ao longo do tempo.

Palavras-Chave: Compósito, Estabilidade de cor, Opacidade, Densidade das ligações cruzadas, Envelhecimento artificial acelerado

MUNDIM, F. M. Influence of artificial accelerated aging on color stability, opacity and cross-link density of dental composites stored in different environment and over different times. Ribeirão Preto, 2007. 167f. Dissertação (Mestrado em Reabilitação Oral). Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.

ABSTRACT

The evolution of composite resins, allied to their characteristic of restoring the natural appearance of teeth regarding color and opacity, makes them one of the main materials of choice among the restorative materials used in dentistry. Color and opacity stability assume a crucial role in a successful aesthetic restoration treatment, since changes in these characteristics may indicate the replacement of aesthetic restorations. These properties are associated with these materials' degree of conversion at the moment of polymerization. The purpose of this study was to evaluate the influence of artificial accelerated aging on color stability, opacity, and density of cross-links in composites stored for 30 and 90 days in different environments (room temperature/refrigerator). Five dental composites were used, with two shades: light and dark. Composite packages were kept in room temperature (+/- 25°C) and in a refrigerator (+/- 8°C), for 30 and 90 days, for posterior specimen fabrication (12 mm in diameter / 2 mm thick). Specimens were subjected to readings for color change (ΔE), opacity (OP), and cross-link density, before and after artificial accelerated aging. Statistical analysis (2-way ANOVA – Tukey – level of significance at $p < 0.05$), revealed that QuiXfil Universal, Tetric EvoCeram C3, and SR Adoro A2 composites presented clinically unacceptable color changes ($\Delta E \geq 3.3$). Regarding opacity, light shade direct resins presented less opacity compared to dark shades, whereas light shade indirect resins presented more opacity than dark ones. As to cross-link density, artificial accelerated aging increased cross-link density in direct resins. It is concluded that the materials did not behave homogeneously, in terms of the studied properties, under the effects of storage time and environment. This suggests that the effects of aging are imperative and more relevant to material changes over time.

Keywords: Composite, Color stability, Opacity, Crosslink density, Artificial accelerated aging

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Compósitos odontológicos utilizados.....	60
Figura 02A	Matriz de teflon para confecção dos corpos-de-prova.....	66
Figura 02B	Inserção do 1º incremento de resina na matriz.....	66
Figura 02C	Lamínula de vidro para aplainamento de superfície.....	66
Figura 02D	Realização do polimento com Sof-Lex.....	66
Figura 02E	Fotopolimerizador Ultraled XP.....	66
Figura 02F	Unidade polimerizadora – Targis Power Upgrade Upgrade....	66
Figura 03	Espectrofotômetro PCB 6807 BYK GARDNER.....	68
Figura 04	Fundo padrão branco e preto.....	68
Figura 05	Sistema de coordenadas de cores de CIE L*a*b*	68
Figura 06	Shimadzu Micro Hardness Testers HMV-2 Series.....	72
Figura 07	Imagem da compressão realizada para avaliação da microdureza em aumento de 10X e mensuração da maior diagonal (simulação).....	72
Figura 08	Sistema Acelerado de Envelhecimento para não-metálicos....	75
Figura 09	Corpos-de-prova fixados às placas da máquina de envelhecimento artificial.....	75
Figura 10	Resina composta QuiXfil Universal armazenada em temperatura ambiente por 30 dias, antes e após o envelhecimento artificial.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Compósitos odontológicos utilizados e suas especificações... 61
Tabela 02	Codificação dos grupos estudados segundo os compósitos, a cor, o ambiente e o tempo de armazenagem..... 63
Tabela 03	Valores médios de ΔE , desvio padrão e análise estatística dos compósitos estudados.....77
Tabela 04	Valores médios de ΔE , desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Claros..... 86
Tabela 05	Valores médios de ΔE , desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Escuros..... 88
Tabela 06	Valores médios da Opacidade Inicial (OI), desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Claros..... 91
Tabela 07	Valores médios da Opacidade Final (OF), desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Claros..... 91
Tabela 08	Valores médios da Opacidade Inicial (OI), desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Escuros.....93
Tabela 09	Valores médios da Opacidade Final (OF), desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Escuros.....93
Tabela 10	Valores médios da Opacidade Inicial, Opacidade Final, e a diferença entre estes, dos compósitos estudados, nos diferentes ambientes e tempos de armazenagem..... 95
Tabela 11	Valores de ΔK_{NH} dos compósitos estudados, nos diferentes ambientes e tempos de armazenagem, antes e após o procedimento de envelhecimento artificial..... 98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Alteração de cor do compósito Heliomolar nas cores A2 e C3....	78
Gráfico 02	Alteração de cor do compósito Tetric EvoCeram nas cores A2 e C3.....	80
Gráfico 03	Alteração de cor do compósito 4 Seasons nas cores A2 e C3....	81
Gráfico 04	Alteração de cor do compósito QuiXfil Universal.....	82
Gráfico 05	Alteração de cor do compósito SR Adoro nas cores A2 e D4.....	84

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE GRÁFICOS	xiii
SUMÁRIO	xiv
1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1. Cor	23
2.2. Estabilidade de cor	28
2.3. Opacidade	42
2.4. Densidade das ligações cruzadas	47
3. PROPOSIÇÃO	58
4. MATERIAL E MÉTODOS	60
4.1. Material	60
4.2. Método	62
4.2.1. Confecção da matriz	62
4.2.2. Obtenção dos corpos-de-prova	62
4.3. Realização dos ensaios	67
4.3.1. Espectrofotometria colorimétrica	67
4.3.1.1. Análise da estabilidade de cor	67
4.3.1.2. Análise da opacidade	70
4.3.2. Densidade das ligações cruzadas	71
4.4. Envelhecimento artificial acelerado	73
5. RESULTADOS	77
5.1. Alteração de cor	77
5.1.1. Alteração de cor observada para o compósito Heliomolar	78
5.1.2. Alteração de cor observada para o compósito Tetric EvoCeram	80
5.1.3. Alteração de cor observada para o compósito 4 Seasons	81
5.1.4. Alteração de cor observada para o compósito QuiXfil	82
5.1.5. Alteração de cor observada para o compósito SR Adoro	84
5.1.6. Alteração de cor observada para o Compósitos Claros	86
5.1.7. Alteração de cor observada para o Compósitos Escuros	88
5.2. Opacidade	90
5.2.1. Análise da Opacidade Inicial e da Opacidade Final	90
5.2.1. Análise da Variação de Opacidade (ΔOP)	94
5.3. Densidade das ligações cruzadas	97
6. DISCUSSÃO	101
6.1. Alteração de cor	103
6.2. Opacidade	111
6.3. Densidade das ligações cruzadas	114
7. CONCLUSÕES	124
8. REFERÊNCIAS	127
APÊNDICE	141

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O desafio estético das modernas técnicas e materiais restauradores é o de produzir dente completamente natural. Assim, as restaurações devem imitar, cada vez mais, a perfeição e as propriedades ópticas dos dentes naturais.

A evolução sofrida pelas resinas compostas, principalmente no seu sistema adesivo em suas propriedades físico-químicas, aliada à sua característica de restaurar a aparência natural dos dentes em relação à cor e translucidez, tornam as resinas compostas umas das principais escolhas entre os materiais restauradores estéticos usados na odontologia (ROBINSON, RUEGGERBERG, LOCKWOOD, 1998; SANTOS et al., 2003).

Um dos maiores desafios da odontologia moderna é encontrar a “perfeita” cor do material restaurador em relação à estrutura dentária e como manter esta “perfeita” cor com a passar dos anos no ambiente bucal (MILLER, 1993; MILLER, 1994). Infelizmente, embora recente avanço e melhora nos materiais restauradores, a estabilidade de cor é ainda um problema. A falha na estética é uma das razões mais comuns para troca de restauração (WILSON et al., 1997). Entretanto, devido à rápida troca dos materiais odontológicos, resultado do progresso das pesquisas e por pressão comercial, uma pesquisa clínica de longa data é usualmente difícil de ser realizada (VICHI et al., 2004).

A Odontologia, desde seu princípio, teve como grande preocupação a busca do material restaurador ideal, reproduzindo e restabelecendo a função

de elemento dental, biocompatibilidade, boa adaptação marginal, apresentando adequada resistência à abrasão e reproduzindo a cor natural dos dentes.

O primeiro uso da resina autopolimerizável relata da década 30, seguido por significativo desenvolvimento durante II Guerra Mundial. Na década de 50, com os experimentos de Knok e Gleen (1951), com a adição de silicato de alumínio à resina acrílica, obteve-se o que foi considerado uma resina pseudocomposta. Mas o salto na evolução das resinas compostas foi atribuído a Bowen, no início da década de 60. Em seus estudos, Bowen (1962) obteve o BIS-GMA (bisfenol glicidil metacrilato), uns dos principais constituintes da porção orgânica das resinas compostas. Posteriormente, Bowen acrescentou partícula inorgânica (quartzo), aumentando a resistência da matriz orgânica. Para corrigir a falta de adesão do quartzo com a matriz da resina, Bowen proporcionou o tratamento das partículas inorgânicas com vinil silano. Esta composição conhecida como Complexo de Bowen, é a forma básica das resinas compostas atuais (BUSATO, 2002).

Na cronologia de desenvolvimento das resinas compostas observou-se a busca por melhorias nas propriedades físicas, mecânicas, químicas e também em relação à estética. Tal desenvolvimento em torno das resinas permitiu que elas hoje apresentassem um menor grau de contração de polimerização, maior facilidade da manipulação, resistência à compressão elevada e obtenção de restaurações anatomicamente corretas (REIS, 2000). Para apresentar essas propriedades físicas e mecânicas melhoradas foram necessárias não só alterações na carga inorgânica, mas também na matriz orgânica (BARATIERI et al., 1995; LEINFELDER, 1998).

A classificação dos compósitos é dada quanto ao tamanho e forma de suas partículas de carga. A morfologia e tamanho das partículas possuem fundamental importância nas propriedades do material, como lisura superficial, viscosidade, resistência à fratura, desgaste, contração e profundidade de polimerização (KAWAGUCHI et al., 1994).

A composição dos compósitos, especificamente sua estrutura e as características das partículas de carga, possuem um impacto direto na lisura da superfície da resina (VAN NOORT & DAVIS; 1984; TJAN & CHAN; 1989) e conseqüentemente na suscetibilidade de manchamento extrínseco (SHINTANI et al., 1985; HÖRSTED-BINDSLEV & MJÖR, 1988). O grau de conversão da resina e suas características químicas assumem um papel importante no aparecimento de manchas nas resinas. Quando este grau de conversão da resina é insuficiente, favorece a absorção de algumas substâncias corantes e a inibição de polimerização pelo oxigênio da superfície da restauração e porosidades periféricas pode induzir descolorações do compósito (RUEGGERBERG & MARGESON, 1990). Na composição dos compósitos existem componentes que não sofrem reação, entre eles iniciadores, aceleradores e filtros ultravioletas, mas podem degradar os componentes de cor (ASMUSSEM, 1983).

Segundo Hörsted-Binslev & Mjör (1988) a descoloração dos compósitos é dada de três formas: i) descolorações externas devido ao acúmulo de placa e manchas; ii) alterações na superfície ou sub-superfície e com uma suave penetração e reação de agentes corantes com a camada superficial de resina composta (adsorção); iii) descolorações intrínsecas devido a reações físico-químicas nas porções profundas da restauração.

A estabilidade de cor é um importante parâmetro para os modernos materiais restauradores a base de resina. Muitos fatores influenciam na estabilidade de cor dos materiais fotopolimerizados, como o sistema de fotoiniciação, a matriz resinosa, o tipo de luz usada na fotopolimerização e o tempo de exposição da mesma (BUCHALLA et al., 2002; JANDA et al., 2004). A matriz resinosa também influencia na estabilidade de cor. Nos casos de uma matriz mais hidrofílica, ocorre o aumento na absorção da água, resultando numa coloração mais branca e opaca. Nos casos da matriz resinosa ser muito hidrofóbica, a absorção da água será menor e apenas um pequeno impacto na cor será observada (BUCHALLA et al., 2002; INOKOSHI et al., 1996). Igualmente, o tipo de partícula escolhido (vidro, sílica pirogênica, e outros) também influencia na descoloração das resinas (AMEYE et al., 1981; BUCHALLA et al., 2002).

Em relação à descoloração interna das resinas, estas podem ser alteradas com o envelhecimento dos compósitos, devido às diversas condições físico-químicas com luz visível e irradiação ultravioleta, alterações de temperatura e umidade (FERRACANE et al., 1985; POWERS et al., 1985). A degradação da superfície e da sub-superfície dos compósitos é induzida pela tensão físico-química resultando na formação de microfraturas e conseqüentemente permitindo a penetração de manchas, contribuindo assim pela alteração de cor das resinas (MAIR, 1989a; 1989b; 1991).

Para a mensuração de cor, foram desenvolvidos diversos métodos, dentre eles, a espectrofotometria e a colorimetria, o que tornou possível o estudo dos numerosos parâmetros relacionados com a estabilidade de cor dos compósitos (SATO et al., 1989; UM & RUYTER, 1991).

Uma pobre estabilidade de cor é relatada como um problema tanto para o dentista como para o paciente. Uma condição de envelhecimento acelerado laboratorial nos permite predizer, ou selecionar um material que mantém por mais tempo sua integridade estrutural física e química, permitindo uma pré-seleção do material a ser utilizado.

O desempenho clínico dos materiais restauradores à base de monômeros dimetacrilatos é altamente depende do grau de conversão, como também da estrutura polimérica formada. Havendo uma relação entre grau de conversão e as propriedades físicas e estabilidade química do compósito odontológico (PEUTZFELDT & ASMUSSEN, 2005).

A densidade das ligações cruzadas assume importante papel nas propriedades dos polímeros. Um aumento na densidade das ligações cruzadas promove um aumento na resistência à fratura. Sistemas com baixo nível de ligações cruzadas tendem a serem mais fracos e flexíveis. Por outro lado, polímeros com alto nível de ligações cruzadas são mais duros e resistentes. Conseqüentemente, a estrutura polimérica formada influencia nas propriedades físico-mecânicas do polímero (MARK, 1982). As cadeias poliméricas com menor densidade de ligação cruzada são mais susceptíveis a ação do solvente, isto ocorre devido ao aumento do volume livre e devido ao fato das interações entre as cadeias predominar as ligações lineares. As moléculas do solvente reduzem o emaranhado das cadeias poliméricas, pode romper as ligações inter-cadeias e causa a degradação da interface matriz/partículas, resultando em uma redução das propriedades mecânicas do material restaurador (FERRACANE & BERG, 1995; FERRACANE & MARKER, 1992).

Nos últimos anos, observou-se um crescimento substancial, por parte dos pacientes, à requisição por tratamentos estéticos. Um grande número de resinas compostas está disponível no mercado e estas continuam sendo desenvolvidas para suprir as necessidades de profissionais que almejam um material restaurador estético, com uma técnica de aplicação simples e com boas propriedades físicas e mecânicas (REIS et al., 2000).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Cor

Entender as teorias da cor e a interação da luz com os corpos auxilia o cirurgião-dentista na seleção da cor dos materiais restauradores. A cor, como propriedade óptica, não é simplesmente uma propriedade da luz, mas resultante do efeito das ondas de luz refletida de materiais restauradores, podendo estes serem opacos ou translúcidos. Vários fatores estão envolvidos na determinação da cor, tais como, as características da fonte de luz sob a qual é observado; a forma como estas ondas de luz que incidem sobre o objeto são absorvidas, transmitidas ou refletidas; os efeitos do ambiente na mente do observador.

A cor é o resultado da interação entre três elementos distintos: um foco ou fonte de luz, o objeto iluminado e o observador. Ou seja, nós enquanto observadores, também fazemos parte da cor.

O foco ou fonte de luz, também conhecido como iluminante, é elucidado uma luz definida pela distribuição de potência espectral, que pode ou não ser fisicamente realizável como uma fonte, ou seja, sua distribuição de potência espectral pode ou não ser experimentalmente determinada. Em outras palavras, a fonte de luz pode ser descrita em termos de potência relativa emitida, que em função do comprimento de onda, obtém-se a curva de distribuição de potência espectral da fonte de luz. Sendo considerado o Sol como a mais importante fonte natural de energia radiante.

A Comissão Internacional de Iluminação (*Commission Internationale l'Éclairage – CIE*) é uma organização internacional que tem como objetivo obter informações em relação a arte e a ciência de iluminação. Esta comissão CIE considera como iluminantes padrões primários apenas o iluminante CIE A (lâmpada de filamento incandescente de gás confinado de tungstênio, tendo a mesma distribuição de potência espectral relativa de um radiador ideal operando com temperatura de cor de 2856 K) e o iluminante CIE D65 (simula uma fase da luz do dia com temperatura de cor correlata de aproximadamente 6504 K) (SCHANDA, 1998). Existem outras fontes de luz derivadas do iluminante CIE A, mas estas são consideradas obsoletas pela comunidade científica. Entre estes, temos o iluminante CIE B (distribuição espectral relativa próxima da luz do sol direta) e o iluminante CIE C (representando a luz do dia médio) (BILLMEYER & SALTZMAN, 1981).

Em relação às características do objeto iluminado, este por sofrer diversos fenômenos ópticos, como: reflexão, transmissão, absorção, espalhamento, fluorescência, fosforescência. A cor e a opacidade de um objeto iluminado estão diretamente relacionadas ao espalhamento e a absorção da luz, emitida pela fonte de luz. O espalhamento da luz é causado pela refração da luz ao incidir nas partículas do objeto. A luz pode absorvida, refletida ou transmitida pelo interior do objeto. Em objetos opacos, a luz é espalhada em maior intensidade; por outro lado, em objetos translúcidos, ocorre mais a transmissão da luz que o espalhamento da mesma (GOVÉIA, 2004).

A forma e a textura superficial do objeto provocam um importante efeito na determinação da cor. Para uma avaliação de cor ideal, a superfície analisada deveria ser plana, com a ausência de irregularidade e porosidade; e

de preferência, a cor do objeto deveria ser homogênea. Máscaras são usadas para delimitar a área de avaliação da cor, seja ela uma avaliação visual ou com instrumentos apropriados.

O espectro de radiação eletromagnética ocupa uma grande gama de frequências (ou comprimentos de onda) que se estende desde as baixas frequências (ondas de rádio para comunicação submarina) às altas frequências (raios gama). Uma pequena banda de comprimentos de onda desta radiação eletromagnética é denominada espectro visível, pois órgãos sensoriais interpretam como luz a radiação eletromagnética dentro desta banda

A cor é essencialmente um conceito subjetivo próprio do ser humano e consiste na interpretação que o sistema sensorial e o cérebro atribuem aos diferentes comprimentos de onda da luz recebida ao interpretarem os estímulos nervosos provocados pela absorção dos fótons da radiação eletromagnética com comprimento de onda compreendido entre 350 e 700 nm.

O funcionamento do olho humano é semelhante ao funcionamento dos equipamentos de registro de imagem, pelo menos na recepção e detecção da luz. A visão humana é dada por dois fenômenos: fotópica e escotópica. A visão fotópica é realizada pela parte central da retina, onde a fóvea retiniana, no qual é formada por cerca de 7 milhões de cones, que são elementos sensíveis à cor e ativos na presença de luz intensa. Os cones são sensíveis à luz apenas em certos gamas de comprimento de onda. Assim, existem cones sensíveis à luz na zona do vermelho (cones do tipo r), na zona do verde (cones do tipo g) e na zona do azul (cones do tipo b). Os cones necessitam de níveis de maiores níveis de luminosidade mais elevados, por esta razão, o olho humano não é

capaz de detectar a cor dos objetos em condições de iluminação muito fraca como à noite.

A visão escotópica é dada pela área que envolve a fóvea, onde existem aproximadamente 100 milhões de bastonetes, elementos insensíveis à cor, mas, sensíveis às imagens em preto e branco, sendo ativo diante de uma luz fraca. Os bastonetes são sensíveis à intensidade luminosa em toda a gama de comprimentos de onda a que o olho humano é sensível, proporcionando a detecção das formas dos objetos, a visão noturna e a informação necessária à orientação.

Frente a um estímulo luminoso, nossa percepção da cor é dada como uma resposta psico-física, ou seja, esta percepção da cor é resultante das respostas fisiológicas e psicológicas ao estímulo de energia radiante. Por envolver aspectos psicológicos, a percepção da cor pode alterar-se de observador para observador. Sendo assim, vários fatores podem alterar esta percepção envolvendo o observador, quando este humano, como: fadiga, envelhecimento, emoções, condições de iluminação, metamerismo, exposição prévia, a posição objeto/iluminação e outros fatores (DANCY, et al., 2003; RUSSELL, GULFRAZ, MOSS, 2000; YAP, et al., 1999).

O olho e a visão humana são hábeis a detectar sutis da cor, mas a troca de informação ou a comunicação sobre a magnitude e natureza da cor, é um procedimento complexo, limitado e subjetivo (OKUBO et al., 1998).

Uma segunda recomendação e indicação da *CIE*, diz a respeito do observador padrão. Em 1931, foi adotado o observador padrão de 2º, onde utiliza somente a fóvea, no qual cobre 2º do ângulo de visão. Porém a estrutura ocular humana é diferente entre a região central da retina (fóvea) das regiões

vizinhas. Então em 1964, a *CIE* começou a recomendar um novo observador padrão, o de 10°, onde agora, considera-se uma área de 10° na retina do olho do observador. Entretanto, a diferença real entre estes dois observadores padrão é pequena (WYSZECKI & STILES, 1982).

Existem diversos modelos de sistema de espaço de cor, entre estes, podemos citar: Sistema Munsell, Sistema de Escalas de Cor Uniforme da OSA, Sistema de Cor Natural, Croma Cosmos 500, e outros. O *CIE* após estudos e aprimorados de sistemas anteriores, recomendou oficialmente o Espaço de Cor de *CIE* $L^*a^*b^*$ de 1976, com abreviação oficial de CIELAB. Este sistema de espaço de cor possui uma característica importante, que é sua organização em um espaço de cor tridimensional.

O CIELAB é definido por uma combinação de coordenadas cilíndricas e cartesianas onde um ponto está associado a uma cor única. Por ser um sistema de coordenadas, temos o eixo L^* – coordenada de luminosidade (escala de cinza), onde seus valores numéricos variam de 0 “zero” (preto) ou 100 (branco). Quando mais próximo de 0 (zero) mais escuro é a cor do objeto, e os objetos claros apresentam valores numéricos para L^* próximos de 100. Os eixos a^* e b^* , são conhecida como coordenadas de cromaticidade e variam de -80 a +80. A coordenada a^* designa o eixo vermelho – verde. Quando o valor para a^* for positivo (+) mostrará o desvio no sentido da tonalidade vermelha, quando o valor for negativo (–) mostrará o desvio no sentido do verde. Para a coordenada b^* , os valores positivos são fornecidos para os objetos da tonalidade amarela, e negativos, para a tonalidade azul.

2.2. Estabilidade de cor

A estabilidade de cor assume um papel crucial no sucesso do tratamento restaurador estético, pois alteração da cor nas resinas compostas é uns dos maiores motivos para trocas das restaurações anteriores (KROETZE et al., 1990). E existe um relativo consenso entres os pesquisadores que as restaurações diretas e indiretas em resina composta convencional sofram alterações de cor com os anos (DIETSCHI et al., 1994; POWERS et al., 1988).

A dentina é responsável por conceder a cor da estrutura dentária. Então, o policromatismo comumente encontrado nos dentes é dado pela dentina. O esmalte é como uma estrutura de fibras ópticas que conduz a luz através de capilares levando a cor da dentina subjacente (FAHL, DENEHY, JACKSON, 1995).

Na era das restaurações estéticas, a demanda por boa estabilidade de cor está aumentando. Muitas restaurações anteriores são substituídas por causa alterações inaceitáveis na cor. Muitas fontes de descoloração têm sido sugeridas. Descolorações exógenas são resultados de acúmulo de placa. Outra fonte de descoloração é a degradação na camada superficial da resina relacionada com a dieta e fumo (DORAY et al., 1997; DIETSCHI et al., 1994; NOIE et al., 1995). A alteração da cor está relacionada com a aspereza superficial, dado pelo tamanho das partículas da resina e pelo procedimento de polimento do mesmo, como também pela degradação química. A descoloração nas camadas mais profundas no material pode estar relacionada com reação físico-química no interior do material (UCHIDA et al, 1998).

As propriedades dos compósitos são influenciadas pelo tipo, tamanho e volume das partículas e o grau que estas partículas estão unidas a matriz resinosa. O tipo da matriz e o grau de conversão de polimerização também influenciam nas propriedades das resinas (CONDON & FERRACANE, 1997). A presença de partículas de carga aumenta a força compressiva e dureza da matriz (VAN NOORT, 1994). Li et al. (1985) relataram que alterações na concentração das partículas no compósito alteram as propriedades como dureza, sorção de água, força compressiva, módulo de elasticidade e resistência.

Buscando solucionar os problemas existentes nas restaurações em cerâmicas e nas resinas convencionais, foram desenvolvidas as resinas compostas indiretas de nova (ou segunda) geração. Estas também receberam o nome de cerômeros (CERamic Optimized polyMER) e apresentam alteração na matriz resinosa e também alta densidade de partículas cerâmicas inorgânicas quando comparadas às tradicionais resinas compostas diretas e indiretas. Grande parte dos polímeros cerâmicos possui um processo de pós-polimerização. Ferracane & Condon (1982) afirmaram que os cerômeros possuíam superior resistência flexural, mínima contração de polimerização e proporção de desgaste semelhante à estrutura dental, pois a maioria dos cerômeros utiliza sistema de pós-polimerização. Os cerômeros também apresentam melhores resultados em relação à estabilidade de cor (THORDRUP et al., 1994). Os cerômeros são utilizados em restaurações de prótese fixa, como inlays, onlays, venero e coroas unitárias livres de metal (TOUATI & IADAN, 1997).

Douglas e Craig, em 1982, estudaram as diversas causas para instabilidade de cor das resinas compostas e encontrou um grande número de fatores que contribuem para estas descolorações. A instabilidade química do sistema da resina pode levar a mudança de cor endógena. Além disso, a habilidade de manchar pode ser potencializada pelas condições da superfície do composto, como a aspereza ou composição química superficial.

Em seu estudo Peutzfeldt & Asmussen (1989), relatam a influência dos iniciadores e ativadores na dureza superficial após o processo de polimerização. A composição da resina e seu processo de polimerização possuem um importante papel na estabilidade de cor. A água carrega corantes durante o processo sorção da água (IMAZATO et al., 1999). A porosidade na superfície do material restaurador também é uma fonte de descoloração (RUEGGERBERG & MARGESON, 1990).

Umas das maiores deficiências na estética para o sucesso a longo prazo do tratamento restaurador com resina composta é a instabilidade de cor (COOK, 1985). Muitos são os autores que pesquisam sobre manchamento das resinas compostas e explicam o porquê deste fenômeno (COSTA, 1970; MARCHETTI, 1973). Isso pode ocorrer devido ao manchamento da superfície, mudanças na opacidade do material devido à perda da adesão na interface matriz/carga ou descoloração da matriz da resina por estímulos térmicos ou fotoquímicos (ASMUSSEN, 1983).

O fenômeno do manchamento é bastante complexo e diretamente depende da difusão do agente na resina composta que é controlada pela fração de matriz orgânica na superfície e sua natureza química. A alteração de cor induzida termicamente ou fotoquimicamente tem sido geralmente atribuída

à oxidação da amina aceleradora, embora a descoloração por oxidação dos grupos metacrilatos não reagidos tem sido considerada importante e mudanças na opacidade do material têm sido observadas após envelhecimento térmico e fotoquímico, o que pode estar associado com a perda de adesão entre resina/carga (COOK et al., 1985).

Os materiais odontológicos fotopolimerizados contêm principalmente a canforoquinona como um fotoiniciador. A faixa de absorção da canforoquinona é de 468 nm. O uso da luz visível é vantajoso comparado com a luz UV, pois a luz visível é menos refletida pelas partículas, permitindo melhor sua penetração na resina, resultando numa fotoiniciação mais profunda (BAHARAV et al., 1988; SHINTANI et al., 1985). Embora usada em pequenas quantidades, aproximadamente 0,1% da massa da resina, a canforoquinona possui significativa influência na cor do material, pois a cor amarela possui forte grau de absorção em 468 nm. Quando a fotopolimerização não for adequada (por um período curto ou por uso de uma luz inapropriada), o material ainda irá conter certo grau de amarelo. E sob influências da luz do ambiente promove a conversão da canforoquinona, embora a resina já esteja polimerizada, provocando a amarelamento da material restaurador (JANDA et al., 2004).

Asmussen (1983) avaliou clinicamente o potencial de descoloração das resinas restauradoras. E afirmou existir inúmeras causas e razões para esta descoloração. Para a descoloração interna das resinas compostas, muitos estudos laboratoriais têm sido realizados, e constatou que, nas resinas quimicamente curadas, a alteração de cor interna está associada ao tipo e à quantidade de amina envolvida na polimerização. O inibidor também pode ser causa da descoloração, de forma que o monômero contendo BIS-GMA e

peróxido de benzoíla pode estar relacionado à descoloração interna. Bowen & Argentar (1967) observaram menor descoloração ao acrescentar nitrogênio e argônio nas soluções de teste, sugerindo a influência do oxigênio na descoloração.

Outros importantes componentes no sistema de fotopolimerização são as aminas terciárias aromáticas e as aminas alifáticas, que também são conhecidas como aceleradores (ROULET, 1987). As aminas alifáticas são mais estáveis em relação a cor, quando comparados as aminas aromáticas (ASMUSSEN, 1985). As aminas são conhecidas por formar produtos de reação durante a fotoreação, que tende a causar a descoloração do material restaurador sob influência de luz e calor. A descoloração depende da quantidade e do tipo da amina utilizada como acelerador no sistema de fotopolimerização. A descoloração endógena, que é principalmente causada por seu respectivo sistema de fotopolimerização, é irreversível, diferentemente da descoloração exógena causada por absorção de corantes e acúmulo de placa, que são facilmente removidos mecanicamente (JANDA et al., 2004). Portanto, o sistema de fotoiniciação não somente influencia na polimerização e na resistência do material, como também possui forte impacto na estabilidade da cor.

A mensuração de alteração de cor pelo método visual é um método não confiável e inconsistente, no qual depende do fator psicológico e da resposta fisiológica frente a energia de estimulação. A não consistência deste método deve-se à vários fatores que não podem ser controlado, como a fadiga, a idade, condição emocional, condição luminosa, prévia exposição luminosa,

posição do objeto e do iluminante, e metamerismo (WYSZECKI & STILES, 1982)

A ciência utilizada para quantificar e descrever, por meio de modelos matemáticos, as percepções humanas de cor, e requer que o fluxo radiante esteja de acordo com a sensibilidade do olho humano, é conhecida como colorimétrica.

Com intuito de medir as propriedades ópticas dos materiais odontológicos, o espectrofotômetro tem sido comumente usado para mensuração da cor. Este equipamento permite uma boa confiança nos resultados (MOLENAAR, TEN BOSCH, ZIJP, 1999), apresentando também melhores resultados quando comparados à avaliação visual (POWERS et al., 1988; HORN et al., 1998) e também quando comparados a outros equipamentos (HUNTER, 1987).

A mensuração da cor com o uso do espectrofotômetro pode diferir dependendo das configurações do instrumento, por exemplo: como a amostra é iluminada, qual intensidade da luz para realização da mensuração, e qual padrão de iluminante está sendo utilizado. O espectrofotômetro com uma esfera integrante pode operar com duas mensurações geométricas: componente especular incluso (SCI – specular component included) e componente especular excluído (SCE – specular component excluded).

Bagis & Rueggeberg (1997) avaliaram a proporção de volatilização de compósitos a base de resina constituída por UDMA/TEGDMA e Bis-GMA/TEGDMA, sob efeito do calor, quando este foi utilizado como fator de polimerização complementar pela análise da perda de massa dos materiais quando comparado ao monômero não polimerizado. Foram utilizados dois

compósitos restauradores, um à base de Bis/GMA e o outro à base de UDMA/TEGDMA. O peso percentual das partículas de cada produto fotopolimerizado foi de 50 mg em cada material, determinado por análise termogravimétrica (TGA) utilizando o modelo 2850 (TA Instruments, New Castle, DE, USA). O material foi aquecido à 2°C por minuto, até atingir a temperatura de 800°C. Nesta temperatura, o peso do produto era constituído pela porção inorgânica, já que a porção orgânica foi consumida. A proporção do peso total do componente volátil (fase orgânica) era determinada subtraindo da porção inorgânica. As amostras de 1 mm de espessura e 5 mm de diâmetro foram confeccionadas à partir dos dois compósitos resinosos citados, e fotopolimerizados (500 mW/cm² por 60 segundos). Realizou-se a leitura das amostras em TGA. Após esta leitura, as amostras sofreram polimerização complementar nas temperaturas: 50°, 75°, 100°, 125° e 150°C por 120 minutos. A perda de peso era coletada a cada 30 segundos, registrando o percentual total de perda do conteúdo volátil. Após a interpretação dos dados obtidos, os autores concluíram que o componente volátil do UDMA/TEGDMA era de 16,55% do material restaurador e do Bis-GMA/TEGDMA era de 24,13%. Em relação às temperaturas, observou-se grande perda de massa dos monômeros a partir de 100°C. Observou-se também que não houve diferença nesta perda do componente volátil entre o UDMA/TEGDMA e BIS-GMA/TEGDMA em polimerização convencional ou a calor. Segundo os autores, é comum relacionar diretamente a perda de massa com a volatilização do monômero. Entretanto, uma pequena perda de peso está relacionada à perda de água.

Douglas (2000) avaliou a estabilidade de cor de resinas indiretas de nova geração após serem submetidas ao processo de envelhecimento

acelerado. Foram utilizado 4 resinas indiretas (Artglass, Zeta, Targis e Belleglass), 1 resina direta (Herculite XRV) e 1 porcelana dental (Omega 900). Onde confeccionou-se 5 amostras de cada material odontológico na dimensão: 10 mm de diâmetro e 3 mm de espessura, onde a tonalidade escolhida para o estudo foi a cor A3. As amostras obtidas foram polidas de acordo com as orientações do fabricante. Para o procedimento de envelhecimento artificial as amostras foram expostas ao aparelho Ci-35 Weather-Ometer (Atlas Electronic Devices, Chicago), onde realizou-se a leitura da cor previamente ao procedimento de envelhecimento, após 150 horas e após 300 horas de envelhecimento acelerado. Para avaliação de estabilidade de cor, utilizou-se o colorímetro Minolta CR-321, onde o sistema de cor adotado foi o CIE $L^*a^*b^*$. A alteração de cor (ΔE) foi obtida através da fórmula: $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$. Douglas obteve nos Resultados que a porcelana Omega 900 demonstrou menor alteração de cor após 300 horas de envelhecimento artificial. Entretanto, as resinas indiretas Zeta e Artglass também demonstraram pequena alteração de cor e sem diferença significativa ($p>0,05$) para a porcelana dental. A resina híbrida testada foi que apresentou maior alteração de cor, com aumento no eixo L^* (luminosidade) e sensível diminuição na croma (valores para Δa^* e Δb^*). Concluindo que todas as resinas indiretas de nova geração testadas apresentaram alteração de cor após 300 horas de ação do procedimento de envelhecimento acelerado, porém esta alteração de cor foi considerada aceitável.

Lee et al., (2000) avaliaram a influência de enxaguatórios bucais na estabilidade de cor de materiais restauradores estéticos, com a utilização de envelhecimento artificial acelerado. Foram utilizados dois compômeros (Elan e

F2000) e duas resinas compostas (Alert e Tetric-Ceram) e três tipos de enxaguatórios bucais (Listerine, Peridex e Rembrandt Age Defying). Após a confecção das amostras dos compósitos, estas tiveram seus valores de cor mensurados utilizando o espectrofotômetro e o sistema de coordenadas CIE L^*a^*b antes da imersão em enxaguatório, após imersão no enxaguatório por 24 horas, após 7 dias com e sem envelhecimento artificial acelerado a 150 KJ/m^2 , e apenas com envelhecimento artificial acelerado. Foi observado que a imersão em enxaguatório bucal e o envelhecimento artificial acelerado não provocaram alteração de cor significativamente maior que o grupo controle (água destilada).

Em seu estudo, Nakamura, Saito, Mizuno e Tanaka (2002) avaliaram a alteração de cor e alteração da translucidez de compósitos odontológicos utilizados na confecção de coroas metal-free. Foram utilizados os compósitos: Artglass, BelleGlass, Estenia, Gradia, Targis, Herculite XRV, Solidex e Empress (cerâmica). A tonalidade A3 foi escolhida, por ser um das cores mais utilizadas clinicamente. Os corpos-de-prova foram fotopolimerizados e/ou sofreram polimerização por calor, obtendo amostras de 10 mm de diâmetro e 1 mm de espessura. Após 48 horas de armazenagem em ambiente livre de luz, as amostras foram polidas. Para leitura da translucidez, realizou-se a leitura com espectrofotômetro sobre fundo padrão preto e fundo padrão branco. Já para a leitura da cor, realizou-se a leitura sobre 2 fundos padrões. Sobre um fundo padrão metálico de 0,5 mm (Gold Alloy Type IV, GC) simulando um coping metálico; e sobre um fundo padrão de porcelana (VMK 68, cor A3-opaco), simulando em coping estético. A leitura da cor foi realizada com o espectrofotômetro de luz e no sistema CIE $L^*a^*b^*$. Após as leituras iniciais, todas as amostras foram imersa em água destilada à 60°C por 8 semanas

(este período equivale a 2 anos de uso clínico do material restaurador). Foram realizadas leituras de cor e translucidez: inicialmente, após 2, 4, 6 e 8 semanas de imersão. Após 8 semanas, a translucidez dos compósitos Targis e Solidex diminuíram (tornando mais opaco), enquanto dos demais materiais restauradores mantiveram inalterados após este período. A maior alteração de cor foi encontrada para a resina Targis, tanto sob fundo padrão metálico ($\Delta E=2,2$); como também para o fundo padrão cerâmico ($\Delta E=3,0$).

Vichi, Ferrari e Davidson (2004) avaliaram a influência da exposição à água na estabilidade de cor e na variação da opacidade de três compósitos odontológicos. Foram utilizados 3 sistemas restauradores: Spectrum TPH (De Trey, Konstanz, Germany); Tetric Ceram (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) e Z 100 (3M, St. Paul, MN, USA). Para todas as resinas foram utilizadas 6 tonalidades de cor: A2; A3; A3,5; A4; B2 e B3. As amostras foram confeccionadas com auxílio de matriz, uma lâmina de vidro e fotopolimerizadas com Visilux 2 (3M, St Paul, MN, USA), para obter corpos-de-prova de 15 mm de diâmetro e 1 mm de espessura. Estes eram armazenados por 24 horas ambiente com ausência de luz, para permitir uma melhor conversão dos monômeros. Para mensuração da cor, foi usado um espectrofotômetro (PSD1000, Ocean Optics, FL, USA) que utilizava o sistema CIE $L^*a^*b^*$ para a mensuração da cor, com iluminante D65 e observador padrão 10°. Para a alteração de cor, foi utilizado um padrão cinza 50% (Kodak Co, Rochester, USA) e para opacidade utilizou-se um fundo padrão preto e um branco Q-14 (Kodak Co, Rochester, USA). A alteração de cor e a opacidade das amostras foram mensuradas inicialmente e após 30 dias de imersão em água à 60°C. Todos os compósitos estudados apresentaram alguma alteração de cor (ΔE)

devido a imersão em água. A resina Spectrum TPH apresentou $\Delta E \geq 3,3$ em todas as tonalidades estudadas, sendo estes valores para ΔE considerados clinicamente inaceitáveis. Em contra partida, todos os valores para ΔE da resina Tetric Ceram foram menores que 3,3. Também todos os materiais restauradores apresentaram aumento na opacidade após a imersão em água, exceto para Tetric Ceram C3. Os valores foram particularmente altos para a resina Spectrum TPH, especialmente na cor A2, onde a opacidade aumentou 29,7% após 30 dias de imersão em água.

Janda et al., (2005) avaliaram a influência de diferentes unidades polimerizadoras e de diferentes tempos de polimerização na estabilidade de cor de compósitos armazenados a seco ou em água submetidos ao teste de envelhecimento artificial acelerado (Suntest). As resinas testadas foram Charisma (resina micropartículada), Durafill (resina híbrida), Definite (ormocer) e Dyract AP (compômero). As unidades polimerizadoras foram Translux Energy (Heraeus-Kulzer, Hanau, Germany) que utiliza luz halógena e emite luz entre 400 e 515 nm; e Apollo 95E (Dental/Medical Diagnostic Systems, Westlake Village, CA, USA), que utiliza luz de plasma e emite luz entre 440 e 495 nm. O tempo de fotopolimerização utilizado pelo Translux Energy foi de 20, 40 e 60s e pela Apollo 95E foi de 3, 10 e 20s. Para mensuração da cor utilizou o espectrofotômetro SF 600 Plus (Datacolor, Dietikon, Switzerland) pelo método de CIE $L^*a^*b^*$. Os autores concluíram que o armazenamento a seco provocou suave alteração de cor nos compósitos, enquanto o envelhecimento artificial acelerado possui uma ativa influência na cor e o armazenamento em água provoca uma alteração de cor intermediária. No armazenamento a seco, os compósitos polimerizados pelo Apollo 95E não apresentaram nenhuma

significante alteração de cor. Já para o Translux Energy, a alteração de cor foi observada ($\Delta E > 1$, consideradas alterações visíveis a olho nú) para o Definite para o tempo de polimerização de 40 e 60s e para Dyract AP a 60s. Para o armazenamento em água, observaram grande significância de descoloração, predominantemente para ΔL e Δb , principalmente para as amostras polimerizadas com Apollo 95E. Isto se deve à absorção de água que influencia no índice de refração. Quando as amostras foram polimerizadas com Apollo 95E, observou-se alta diferença estatística nos resultados do armazenamento a seco e em água. Todos os compósitos mostraram melhor estabilidade de cor quando polimerizadas com luz halógena. Sendo o tempo de polimerização considerado ideal para boa estabilidade de cor foi de 40s.

Os materiais restauradores, como compósitos, compômeros e ormocer contêm diferentes sistemas de monômeros, e isto podem mostrar diferente reação destes produtos frente os agentes clareadores. Com este pensamento, Rosentritt *et al.* (2005) realizou um estudo sobre a influência de diferentes sistemas de clareamento sobre os materiais restauradores. Avaliando os diferentes agentes clareadores em diferentes concentrações e sua influência sobre a dureza Vickers, rugosidade superficial e descoloração no espaço de cor CIE $L^*a^*b^*$. Os materiais restauradores estudados foram: Tetric Ceram, Charisma, Dyract, Spectrum e Definite (ormocer). E os agentes clareadores utilizados e suas concentrações foram: Opalescence Extra, Opalescence Regular, Nite White, e três materiais experimentais 1 (E1), 2 (E2) e 3 (E3). Para confecção das amostras, o material restaurador foi inserido em dois passos na matriz (4 mm de espessura e 5 mm de diâmetro), e fotopolimerizado (Heliolux, DLX, Ivoclar Vivadent). Foi realizado o polimento das amostras. Para controle,

foram realizados testes nas amostras antes e depois de 14 dias de armazenamento, mas sem ação de qualquer agente clareador. A cor foi determinada por espectrofotômetro (CM 3500, Minolta) antes e depois da ação do agente clareador, encontrando a alteração de cor (ΔE^*) no universo CIEL*a*b*. A dureza Vickers (HV) foi determinada pelas pontas de Vickers (teste Zwick) e uma carga de 0,2 Kg (60 segundos, ampliada 200x). E a rugosidade superficial (R_a) foi medida antes e após a ação do agente clareador com SP6 (comprimento transversal 1,75 mm e distância vertical/horizontal 100 μ m, Perthen-Feinprüf). Após a análise estatística (teste Mann-Whitney U e o teste Kruskal-Wallis), encontrou que o compômero Dyract mostrou maior alteração de cor do que os outros materiais restauradores após o uso de E1. Nite White e Opalescence Regular tiveram um comportamento semelhante na ação clareadora nos diferentes materiais restauradores. Os valores da rugosidade superficial (R_a) foram maiores após o uso do Nite White e do Opalescence Regular. As maiores alterações dos valores para a dureza Vickers (HV) foi respectivamente para: Dyract, Charisma, Tetric Ceram, Spectrum TPH e Definite. A alta alteração de cor encontrada no compósito de micro-partículas (Charisma) pode ser devido à baixa concentração de partículas ($\approx 60\%$). Mas a influência dos diferentes tipos de partículas não pode ser excluída. Uma alta concentração de partículas resulta numa concentração mais baixa de monômero no material restaurador, podendo assim contribuir para a dureza frente os agentes clareadores.

Lee e Powers (2007) avaliaram alteração da cor e de suas coordenadas, e a influência do modo da mensuração (reflexão *versus* transmissão) de resinas compostas submetidas ao procedimento de envelhecimento artificial.

Foram utilizadas sete resinas compostas e 14 tonalidades, as amostras (38 mm de diâmetro e 1 mm de espessura) foram polimerizadas como fotopolimerizador (UniXS, Heraeus Kulzer, Wehrheim, Germany) por 90 segundos, e armazenadas por 24 horas à 37°C. A mensuração da cor foi realizada com o espectrofotômetro (Color-Eye 7000, GretagMacbeth Instruments Corp., New Windsor, NY, USA) composto com uma esfera integrante, no universo CIE $L^*a^*b^*$, iluminante D65 e observador padrão de 8°, sendo realizada sob fundo padrão branco (CIE $L^* = 94.3$, $a^* = -0.4$, $b^* = 1.4$). A leitura da cor foi realizada antes e após o uso na máquina de envelhecimento artificial. Este último aparelho expõe as amostras ao arco de xenon 0.55 W/m²/nm em uma energia total 150 kJ/m². Nos resultados, foi utilizado o PLSD (Fischer's Protected Least Significant Difference), onde o modo de mensuração (reflexão e transmissão) influi significativamente os valores de ΔE , ΔL^* e Δa^* , mas não significativamente para os valores de Δb^* . A correlação entre a alteração de cor e modo de mensuração (coeficiente de correlação = 0,91 / $p < 0,01$) foi a seguinte: alteração de cor no modo "reflexão" = 1,90 e alteração de cor no modo "transmissão" = 0,15. A alteração de cor (tanto no modo reflexão como no modo transmissão) foi inaceitável em 9 das 14 tonalidades de cor. Também foi analisada a correlação entre a alteração de cor e o parâmetro de translucidez ($TP = [(L^*_B - L^*_W)^2 + (a^*_B - a^*_W)^2 + (b^*_B - b^*_W)^2]^{1/2}$), onde "B" e "W" referem as coordenadas de cor sob fundo padrão preto (B) e branco (W), respectivamente. Onde a translucidez não está correlacionada com a alteração de cor após o envelhecimento artificial ($p > 0,01$). A polimerização pode alterar o índice de refração na matriz resinosa, diminuindo a translucidez devido ao aumento de espalhamento da luz. As cores caras demonstraram maior

alteração de cor após o envelhecimento artificial. Em cinco das setes resinas compostas ocorreram a diminuição dos valores de CIE L* após o envelhecimento artificial. Porém em duas resinas ocorreu o aumento da luminosidade, pois alta temperatura do processo de envelhecimento artificial aumenta a grau de polimerização das resinas compostas.

2.3. Opacidade

A opacidade resulta do espalhamento da luz refletida muitas vezes ao atravessar o material e sua magnitude depende da diferença de índice de refração dos componentes do material e do número e tamanho das partículas dispersas (GOVEIA, 2004) e é definida e mensurada como a proporção de refletância das amostras quando utilizado um fundo padrão preto e um fundo padrão branco.

A opacidade de um compósito odontológico é descrita como uma propriedade inversa da translucidez. Para avaliação da opacidade é fundamental o controle da cor do fundo padrão, produzindo resultados uniformes e consistentes. A cor de fundo pode influenciar a aparência da amostras tornando-a mais escura ou mais clara (ANUSAVICE, ZHANG, MOORHEAD, 1994; GROH, O'BRIEN, BOENKE, 1992; O'BRIEN, GROH, BOENK, 1990).

A opacidade de materiais odontológicos está diretamente relacionada à qualidade da textura superficial, onde superfícies ásperas ou rugosas aumentam as reflexões aleatórias (INOKOSHI et al., 1996). A opacidade

também correlaciona com a espessura da amostra a ser avaliada, quanto menor a espessura do corpo-de-prova do material restaurador maior a influência da cor de fundo no resultado final (SEGHI, JOHNSTON, O'BRIEN, 1986).

A qualidade estética das restaurações odontológicas com o uso de resinas compostas está associada particularmente à capacidade do material restaurador mimetizar a aparência da dentição natural. E a translucidez da resina composta assume um papel crítico neste contexto.

Em muitos casos, a translucidez do material restaurador contribui para a qualidade estética, permitindo que a cor da estrutura dentária adjacente ou subjacente passe direto, sem muita interferência do material restaurador. Este fenômeno é conhecido como efeito “camaleão” e é utilizado clinicamente há alguns anos (SWIFT, HAMMEL, LUND, 1994).

Entretanto, em caso de ausência de estrutura dentária na parede lingual do dente a ser restaurado, como por exemplo, em cavidades extensas classe III ou classe IV, a translucidez do material pode resultar em falha estética. Mas especificamente, pode ocorrer o acinzentamento da material restaurador quando comparado às estruturas dentárias adjacentes, causado pela escuridão da cavidade bucal (IKEDA, MURATA, SANO, 2004). Neste caso clínico, uma matiz opaca de resina composta pode ser utilizado, resultado em uma melhora estética (KAWAGUCHI, FUKUSHIMA, MIYAZAKI, 1994; POWERS, YEH, MIYAGAWA, 1983).

Inokoshi *et al.* (1996) estudaram a opacidade intrínseca e a alteração de cor de três tipos de materiais odontológicos em diferentes períodos de imersão em água. Foram utilizados cinco compósitos quimicamente polimerizados

(matiz U), sete compósitos fotopolimerizados e três cimentos de ionômero de vidro modificado por resina (matiz A3). Realizou-se a mensuração da cor e da opacidade inicial dos produtos, utilizando colorímetro fotoelétrico (CD-270) e o sistema tridimensional CIELAB. Para a mensuração da opacidade, realizou-se a leitura das amostras sob um fundo padrão preto e sob um fundo padrão branco. A opacidade das amostras era representada pela relação de contraste (C_r – contrast ratio), onde $C_r = R_b/R_w$, sendo R_b a refletância da amostras sob fundo padrão preto e R_w sob fundo padrão branco. Valores altos para C_r significavam uma alta opacidade do material restaurador. Logo em seguida a esta mensuração inicial, as amostras foram armazenadas em água destilada à 60°C por até 4 semanas. No final de cada semana, realizava-se a mensuração da cor e da opacidade das amostras. Embora todos os materiais apresentarem alteração de cor estatisticamente significativa após 4 semanas de armazenamento em água à 60°C, a magnitude desta diferença era diretamente dependente ao tipo de material restaurador. Os compósitos fotopolimerizados mostraram desprezível descoloração após 4 semanas, onde tal alteração cromática era dificilmente detectada por inspeção visual. Já os compósitos quimicamente polimerizados mostraram descoloração, tornando-se amarelo escuro ou marrom escuro, onde eram claramente reconhecidas por inspeção visual. Os cimentos de ionômero de vidro reforçados por resina mostraram uma abrupta alteração de cor (escurecimento) em relação à mensuração inicial. A alteração da cor de todos os materiais resultou em uma diminuição de L^* , um pequeno aumento de a^* e um moderato aumento de b^* , indicando a tendência para a descoloração para o amarelo escuro ou marrom escuro. Em relação à opacidade, os compósitos fotopolimerizados mostraram desprezível alteração

da opacidade após 4 semanas. Todos os cimentos de ionômero de vidro reforçado por resina mostraram abrupta perda da opacidade em relação à fase inicial. Este abrupta diminuição da opacidade e a alteração de cor dos cimentos de ionômero de vidro reforçado por resina pode ser devido a reação ácido base entre as partículas de vidro e o ácido poliacrílico e aceleração da polimerização dos radicais livres quando imersos em água a 60°C. E isto pode resultar em um aumento no índice de reflexão da matriz.

Ikeda, Murata e Sano (2004), avaliaram o parâmetro de translucidez das matizes opacas das resinas compostas e a habilidade dos materiais restauradores em mascarar o fundo padrão preto. Foram selecionados três materiais odontológicos para este estudo: UniFil S (compósito semi-híbrido), Palfique Estelite (compósito de pequenas partículas) e Filtek A110 (compósito de micro-partículas) e para mensuração da translucidez, foi utilizado um colorímetro OFC-300A (Nippon Denshoku, Tokyo, Japan) e o sistema CIE $L^*a^*b^*$ em padrões de fundo branco e preto. Levando em consideração que a alteração da translucidez ocorre em imersão em água, a mensuração das amostras foi realizada após uma semana de armazenamento em água a 37°C. Os valores de ΔE^* para as amostras de 1 mm de espessura foram maiores do que as amostras de 2 mm de espessura, independentemente da matiz ou material analisado. Os autores também observaram que quando o fundo padrão branco era trocado pelo fundo padrão preto, não só os valores de L^* diminuía, mas também os valores de a^* e b^* das amostras estudadas sofriam redução de seus valores, para todas as matizes e materiais analisados. Este fato indica que o efeito do fundo padrão preto não é limitado somente na

luminosidade dos materiais, mas também pode ocorrer alteração cromática destes produtos odontológicos (MIYAGAWA, POWERS, 1983).

Kim e colaboradores (2007) avaliaram o efeito das nanopartículas de compósitos experimentais na opacidade. A matriz resinosa do compósito experimental foi preparada da seguinte forma: 0,5% de fotoiniciador (canforoquinona), 1,0% de fotoiniciador (2 etil-metacrilato), 70% de Bis-GMA e 30% de TEGDMA. Estes compósitos possuíam 76% em peso de partículas inorgânicas, entre estes: minipartículas de vidro Ba, micropartículas de sílica pirogênica, e nanopartículas de sílica, onde todas as partículas foram silanizadas. Os grupos experimentais EXP-01 a EXP-06 continham proporção de micropartículas e nanopartículas, e quantidade de fixa de minipartículas (70% em peso). Já os grupos EXP-07 a EXP-12 continham proporções de minipartículas e nanopartículas, e ausência de micropartículas. As amostras de 10 mm de diâmetro e 1,1 mm de espessura foram fotopolimerizadas por 30 segundos por 500 mW/cm² (VIP; Bisco, USA), e posteriormente polidas. A razão de contraste de cada espécie foi determinada pela proporção de refletância quando as amostras eram lidas sobre fundo padrão preto e fundo padrão branco usando um espectrofotômetro (CM-3500d, Minolta, Japan). A primeira leitura de opacidade foi lida 6 horas após a obtenção dos corpos de prova. Seguido por uma nova fotopolimerização e armazenamento das amostras em água deionizada (37°C) por 1, 7, 14, 21, 28, 56 e 84 dias, e após cada período de armazenamento, era realizada a leitura da opacidade. Nas amostras EXP-01 e EXP-07 foram realizadas a microscopia eletrônica de transmissão (EF-TEM; EM912 Omega, Carl Zeiss, Germany), para observação da distribuição das partículas nos compósitos experimentais. Estes autores

observaram que a razão de contraste diminui como aumento da proporção das nanopartículas, onde EXP-07 (6% de nanopartículas e 0% de micropartículas) demonstrou razão de contraste de 34 a 65% menor que EXP-01 (0% de nanopartículas e 6% de micropartículas). A razão de contraste tende a diminuir em função do período de armazenamento em água, mas de maneira não significativamente diferente ($p>0,05$). A opacidade assume importante papel na translucidez e nas características estéticas do material restaurador. Embora a matriz resinosa e as partículas dos compósitos experimentais exibissem excelente translucidez, estas partículas podem aumentar o espalhamento da luz do compósito. E a opacidade do compósito está diretamente relacionado com o tamanho das partículas.

2.4. Densidade das ligações cruzadas

Apesar da popularidade dos compósitos odontológicos e suas melhorias nas propriedades físico-mecânicas, as resinas atuais ainda apresentam algumas deficiência nestas propriedades, no qual limitam o uso e a indicação destas resinas odontológicas. Podendo citar a contração de polimerização, que é acompanhado de estresse, absorção de água após sua exposição no ambiente bucal, e a incompleta conversão das ligações dupla de carbono (DAVIDSON & FEILZER, 1997).

A formação da estrutura polimérica na polimerização de um compósito odontológico ocorre na fase de propagação da cadeia polimérica e inclui uma mistura de cadeias lineares, ligações cruzadas, e um emaranhado de

segmentos de cadeias interpenetradas, no qual determinam as propriedades, físicas, mecânicas e ópticas do material restaurador. Uma alta densidade das ligações cruzadas está associada com um aumento destas propriedades e da estabilidade deste material (DARONCH, RUEGGEBERG, DE GOES, 2005).

A cadeia polimérica formada por monômeros multifuncionais é conduzida pelas duplas ligações C=C pendentes no desenvolvimento dos macro-radicaís. Estas duplas ligações pendentes podem reagir com a propagação dos radicaís para formar o ciclo primário, ciclo secundário e ligações cruzadas. O ciclo de reação das duplas ligações pendentes possui um importante papel na formação da estrutura polimérica. A reação do ciclo primário forma um microgel e conduz a heterogeneidade da estrutura polimérica, onde coexistem no mesmo microgel regiões de alta quantidade de ligações cruzadas e outras regiões com baixa quantidade destas ligações. Este ciclo primário pode promover alta conversão local, pois a mobilidade do sistema não diminui, quando comparado a mobilidade do sistema durante a formação das ligações cruzadas. Embora o mais importante é que este ciclo pode conduzir na diminuição da efetividade da densidade das ligações cruzadas, quando este ciclo não contribui na formação da estrutura polimérica (ELLIOT et al., 2001). A redução na efetividade da densidade das ligações cruzadas das resinas polimerizadas pode reduzir a resistência mecânica e resistência à ação do solvente (ANSETH & BOWMAN, 1994).

Os monômeros dimetacrilatos formam redes poliméricas com alta quantidade de ligações cruzadas após a polimerização. A conversão do monômero nunca é dada por completa, e o polímero possui uma quantidade considerável de monômero residual, que não reage com as duplas ligações. A

quantidade de ligação dupla restante depende da composição do monômero, da natureza do sistema de iniciação (FERRACANE & GREENER, 1986), e da quantidade de luz polimerizadora (SILIKAS, et al., 2000; CONDON & FERRACANE, 1997). E existe uma associação entre um alto grau de conversão e melhora das propriedades mecânicas (SIDERIDOU, TSERKI, PAPANASTASIOU, 2002). Entretanto, estudos recentes mostram que o grau de conversão não é suficiente para caracterizar isoladamente a estrutura tri-dimensional dos compósitos odontológicos, e que áreas com diferentes concentrações de ligações duplas C=C, presença de grupos depende ou monômero residual, coexiste no mesmo polímero (ASMUSSEN & PEUTZFELDT, 2001a, 2001b). Esta heterogeneidade pode produzir cadeias poliméricas com baixa densidade das ligações cruzadas (SOH & YAP, 2004; FERRACANE, MITCHEM, CONDON, 1997).

O grau de polimerização no sistema de formação das ligações cruzadas assume um papel importante nas propriedades físicas e mecânicas das resinas odontológicas. Inadequada polimerização resulta em deficiente propriedade físico-mecânica como pobre resistência ao desgaste, pobre estabilidade de cor, cáries secundárias, reações teciduais adversas, aumento na taxa de absorção de água, solubilidade e falhas precoce na restauração (VARGAS, et al., 1998; SHORTALL, et al., 1995).

Vários fatores podem interferir na polimerização dos compósitos odontológicos, desde a intensidade de luz polimerizadora utilizada à composição dos materiais polimerizados. A composição dos compósitos pode afetar a taxa de conversão nos seguintes modos: i) alta proporção de TEGDMA na mistura com Bis-GMA; ii) conter um monômero mono-funcional, na mistura

com o monômero bi-funcional; e iii) uma alta concentração de sistema iniciador e co-iniciador, onde estas três características, resultam em uma polimerização mais rápida. A densidade das ligações cruzadas da estrutura polimérica depende da composição do monômero utilizado pelo compósito. Uma alta proporção de monômeros bi-funcionais TEGDMA/Bis-GMA dá ao polímero uma alta taxa de conversão, e conseqüentemente, uma alta densidade de ligações cruzadas (FERRACANE & GREENER, 1986).

A reação de polimerização dos compósitos odontológicos ocorre nas ligações C=C dos monômeros dimetacrilatos presentes na matriz resinosa e conversão das distâncias intermoleculares de 0,3-0,4 mm entre as cadeias poliméricas formadas, mantidas por forças de Van der Waals, em ligação covalente C-C com distância de 0,15 mm (PEUTZFELDT, 1997).

O grau de conversão, apesar de ser um importante fator, ele não dá sozinha a característica da estrutura polimérica. A conversão é uma média mensurável. Áreas com alta ou baixa taxa de conversão pode demonstrar a mesma quantidade de ligações duplas livres, como também a mesma homogeneidade da resina polimerizada. Além disto, diferentes polímeros lineares e polímeros com diferente densidade das ligações cruzadas pode ter a mesma taxa de conversão (ASMUSSEN & PEUTZFELDT, 2001a, 2001b). O sistema de polimerização pulse delay (início gradual) dá aos polímeros uma maior susceptibilidade ao amolecimento quando imerso em etanol, resultando em uma estrutura polimérica linear e com baixa formação de ligações cruzadas. A lenta polimerização inicial deste sistema de polimerização fornece poucos centros de formação de polímeros, resultando em uma estrutura polimérica mais linear. Por outro lado, uma rápida polimerização resulta em

múltiplos centros de formação, e conseqüentemente um polímero com alta densidade de ligações cruzadas (ASMUSSEN & PEUTZFELDT, 2001b).

Para determinação da densidade das ligações cruzadas (q) através do grau de conversão (α) previamente determinado dos polímeros à base de monômeros dimetacrilatos, deve-se seguir a seguinte fórmula:

$$q = \frac{2\alpha - 1}{\alpha}$$

entretanto, esta equação só pode ser utilizada se o grau de conversão (α) for superior a 50% (BARSZCZEWSKA-RYBAREK et al., 2000).

Bagis e Rueggeberg (2000) estudaram a influência da pós-polimerização por calor na quantidade remanescente de monômero residual em compósitos odontológicos fotopolimerizados, nos qual sofreram inicialmente, a fotopolimerização, seguido pela polimerização por calor. As amostras de 10 mm de diâmetro e 1 mm de espessura, foram confeccionados com a resina Herculite HRV na cor A2 que foram fotopolimerizados com a exposição das amostras à 500 mW/cm², com comprimento de onda entre 400 a 520 nm por 60 segundos. Após esta fotopolimerização, as amostras foram submetidas à polimerização por calor com auxílio da Neytronic 2000 (JM Ney Company, Bloomfield, CT), onde as amostras receberam posterior polimerização por 7 minutos, nas seguintes temperaturas: 50, 75, 100 e 125°C. O grupo controle não recebeu nenhum tratamento adicional. Para quantificar o monômero residual, as amostras foram armazenadas no solvente metil butirato à 37°C por 2 semanas. Após este período, o solvente foi submetido à análise cromatográfica, analisando os monômeros Bis-GMA, EBis-GMA e TEGDMA residuais. Após a análise estatística (ANOVA/Tukey-Kramer, e nível de

significância de 95%), estes autores observaram que com o uso da pós-polimerização por calor, a quantidade dos monômeros residuais sofreu grande redução. E com o aumento da temperatura de pós-polimerização, esta quantidade de monômero residual também sofreu redução, porém agora em menor grau. A quantidade de monômero residual quando da utilização da pós-polimerização à 75°C ou para valores acima deste, eram menores o aumento da temperatura, mas não significativa ($p > 0,05$).

Tanoue, Matsumura e Atsuta em 2000, avaliaram a dureza e sorção de água de dois compósitos odontológicos polimerizados, avaliando três sistemas de polimerização e a influência da pós-polimerização por calor e uma fonte luminosa de alta intensidade sobre as propriedades destes materiais restauradores. Foram utilizados dos compósitos (Artglass e Dentacolor), que foram polimerizados pelos seguintes métodos: (1) fotopolimerização por uma fonte luminosa de xenon (Dentacolor XS) por 120 segundos; (2) fotopolimerização por uma fonte luminosa de xenon por 120 segundos, seguido por uma polimerização adicional por calor (KL 100) de 100°C por 15 minutos; e (3) fotopolimerização com lâmpadas de metal halóide (Hyper LII) por 120 segundos, para obtenção das amostras, que passado 24 horas de sua confecção, sofreram o polimento. A dureza Knoop foi determinada por um endentador universal (MVK-E Hardness Tester) após aplicação de uma força de 50 gramas por 30 segundos. E a solubilidade em água dos compósitos estudados, foi determinada segunda recomendação da *International Organization for Standardization* (ISO 10477:1992). A pós-polimerização por calor aumentou consideravelmente a dureza, como também reduziu a solubilidade à água dos compósitos. Mas um grande aumento na dureza e

também uma diminuição na solubilidade foi observado com uso do sistema de fotopolimerização de metal halóide. Já que estes fontes luminosas de alta intensidade geralmente imitem energia por luz e por calor, aumentando a temperatura do ambiente durante a fotopolimerização e afetando positivamente as propriedades destes materiais restauradores.

Asmussem & Peutzfeldt (2001b) avaliaram a influência da composição dos polímeros à base de monômeros metacrilatos na densidade das ligações cruzadas. Foi utilizada uma resina experimental baseada em monômeros bi-funcionais Bis-GMA e TEGDMA, monômero mono-funcional BMA (benzil metacrilato) em diversas proporções destes monômeros. E também, foi utilizado um iniciador (canforoquinona) e co-iniciador (CEMA) em proporções de 0,2%; 0,5% e 1,0% do peso da resina experimental. As amostras de 8 mm de diâmetro foram polimerizados com o fotopolimerizador XL3000 (3M, St. Paul, MN, USA). O grau das ligações cruzadas formadas foi mensurado pela temperatura de transição vítrea. As duplas ligações remanescentes foram mensuradas usando o espectroscópio FTIR, onde este avaliou a absorbância da dupla ligação C=C e da ligação no anel aromático antes e após a polimerização das amostras. A taxa de dupla ligação que não sofreram reação, foi calcula em fração das mensurações pré e pós-polimerização. A densidade de ligações cruzadas pelo método indireto foi realizada utilizando o teste de dureza Wallace nas amostras de 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. Após a confecção da amostras, estas foram armazenadas à 37°C por 24 horas, para então realização do polimento. Realizou-se a mensuração da dureza inicial e após a imersão em etanol por 24 horas à 37°C, o mesmo teste de dureza foi realizado. Os autores deste trabalho observaram nos Resultados,

que quando menor a concentração de TEDGMA, maior a quantidade de duplas ligações remanescentes e maiores valores encontrados para a dureza Wallace. O aumento da proporção de BMA resultou em menor quantidade de duplas ligações remanescentes. O aumento da concentração de iniciador e do co-iniciador causou uma diminuição das duplas ligações remanescentes.

Soh & Yap, em 2004, em seu estudo investigaram a influência do modo de polimerização na densidade das ligações cruzadas de compósitos odontológicos. Foi utilizado o compósito Z100 (3M-Espe, St Paul, MN) na tonalidade A2 e uma unidade fotopolimerizadora com controle do tempo e intensidade da luz polimerizadora (Variable Intensity Polymerizer-VIP, BISCO Inc, Schaumburg, IL). Foram avaliados 4 diferentes modos de polimerização: i) Controle – C (400 mW/cm^2 – 40 segundos); ii) Pulse Delay – PD (polimerização por pulso - 100 mW/cm^2 – 10 segundos; espera – 3 minutos; 500 mW/cm^2 – 30 segundos); iii) Soft-Start – SS (início gradual - 200 mW/cm^2 – 20 segundos; 600 mW/cm^2 – 20 segundos); e iv) Pulse Cure – PC (polimerização por pulso - 400 mW/cm^2 – 20 segundos; espera – 20 segundos; 400 mW/cm^2 – 20 segundos). A densidade das ligações cruzadas dos polímeros foi avaliada tanto pelo método direto (mensuração da temperatura de transição vítrea - T_g) como pelo método indireto (mensuração da dureza antes e após o armazenamento das amostras em álcool). Para o método direto, foram confeccionados corpos-de-prova de 5 mm de diâmetro e 1 mm de espessura com auxílio de uma matriz de acrílico. Após o correto uso do sistema de polimerização, as amostras foram armazenadas em ambiente livre de luz ($25 \pm 0,2^\circ\text{C}$) por 24 horas. A T_g foi determinada pelo DSC (TA Instruments 2920, USA). No método indireto, as amostras de 3 mm de diâmetro e 2 mm de

espessura, após sua confecção, foram armazenadas à 37°C por 24 horas. A dureza do avaliada por um microdurômetro digital (FM7, Future-Tech Corp, Tokyo, Japan), aplicando uma força de 500 gramas no endentador durante 15 segundos, obtendo o KNH1. E após o armazenamento das amostras em solução de etanol 75%, por 24 horas, foi obtido o KNH2. A deterioração da matriz resinosa foi avaliada seguindo a fórmula: $\Delta\text{KNH} = \text{KNH1} - \text{KNH2}$. Para análise dos resultados foi utilizado one-way ANOVA/Scheffe's com nível de significância de 0,05. Para os valores obtidos pelo T_g , a densidade das ligações cruzadas foi $C > PC > SS > PD$. Nos resultados obtidos pelo método indireto, as amostras polimerizadas com PD foram significativamente mais susceptíveis a degradação pelo etanol que as amostras polimerizadas com PC. Os autores deste trabalho concluíram que a densidade das ligações cruzadas é dependente do modo de polimerização, e em comparação a C, PC e SS, a polimerização pulse delay (PD) resulta em estrutura polimérica com mais ligações lineares que ligações cruzadas.

Em seu estudo Schneider et al. (2007) avaliou as diferentes concentrações de etanol usados nos testes de amolecimento pode influenciar nos valores dos resultados obtidos quando avaliados diferentes sistemas de fotoativação de compósitos odontológicos. Com a ajuda de uma matriz de metal, foram confeccionados os corpos-de-prova (5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura), utilizando os compósitos Filtek Z250 e Filtek Z100 e fotopolimerizados com luz halógena de quartzo-tungstênio XL2500 (3M/Espe) das seguintes formas: (1) padrão – 40 segundos de exposição à 700 mW/cm²; (2) pulse delay (polimerização por pulso) – 5 segundos (100 mW/cm²), espera de 3 minutos, e 39 segundos (700 mW/cm²). Após a confecção as amostras,

estas foram armazenadas à seco por 24 horas à 37°C, seguido pelo seu polimento. Para mensuração da dureza Knoop inicial, utilizou um edentador (HNV-2, Shimadzu, Tokyo, Japan) com carga de 50 gramas durante 15 segundos. Metade das amostras foi armazenada em solução de etanol 75% por 24 horas, enquanto a outra metade em solução de etanol absoluto, e realizada a leitura da dureza Knoop após a imersão. Na análise estatística (two-way ANOVA), foi demonstrada a interação entre o sistema de fotoativação e a concentração de etanol ($p < 0,05$) na redução da dureza, onde os valores de dureza Knoop, foram significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre os diferentes sistemas de ativação, somente quando utilizou a solução de etanol absoluto. Estes autores concluíram que a concentração de etano influencia significativamente os resultados do teste de amolecimento de imersão por 24 horas em um solvente. E que as amostras armazenadas em solução de etanol absoluto tiveram diferenças nos resultados dos diferentes sistemas de fotoativação utilizados, enquanto estes mesmo sistemas não tiveram diferença quando imersos em etanol 75%.

3. PROPOSIÇÃO

3. PROPOSIÇÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do envelhecimento artificial acelerado sobre a estabilidade de cor, opacidade e densidade das ligações cruzadas de compósitos armazenados por 30 e 90 dias em ambientes diferentes (temperatura ambiente/geladeira).

MATERIAL E MÉTODOS

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Para a realização deste estudo foram utilizados 5 compósitos odontológicos (Figura 01) conforme descritos na Tabela 01. Quatro desses compósitos são apresentados comercialmente em escalas de cores e, no presente estudo, foram utilizadas duas cores diferentes, uma mais clara e outra mais escura. A resina QuiXfil é comercializada como compósito restaurador universal e é apresentada comercialmente em uma só tonalidade.

As embalagens dos materiais foram mantidas em dois ambientes: em armário, à temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$), em local livre da ação da luz; e em geladeira, com temperatura média de $\pm 8^{\circ}\text{C}$.

Figura 01 – Compósitos odontológicos utilizados

Tabela 01 – Compósitos odontológicos utilizados e suas especificações.

Material	Cores	Tipo de compósito	Tamanho médio das partículas	Percentual de cargas inorgânicas (por peso)	Composição (% em peso)	Polimerização	Fabricante
Heliomolar	A2 C3	Resina direta de micropartículas	0,04 a 0,2 µm	66,7%	Bis-GMA (14,3%); UDMA (4,4%); DM-DMA (3,3%); SiO ₂ altamente disperso (20,2%); Copolímeros (47%); YbF ₃ (10,6%); Estabilizadores, catalisadores e pigmentos (0,2%)	LED por 40 segundos	Ivoclar/Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein
Tetric EvoCeram	A2 C3	Resina direta microhíbrida	0,1 a 0,7 µm	82-83%	Bis-GMA (5-10%), Bis-EMA (1-5%) e UDMA (5-10%); Vidro de Ba silanizado (30-40%); YbF ₃ (1-5%); Óxidos mistos esferoidais (5-10%); Copolímeros (30-40%); Estabilizadores, catalisadores e pigmentos	LED por 40 segundos	Ivoclar/Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein
4 Seasons	A2 C3	Resina híbrida de partículas finas	0,6 µm (0,04 – 3,0 µm)	75-77%	Bis-GMA (7-9%), UDMA (9-11%) e TEGDMA (3-4%); Vidro de Ba silanizado; YbF ₃ ; Vidro de fluorsilicato de Ba-Al; SiO ₂ altamente disperso; Óxidos mistos esferoidais; Estabilizadores, catalisadores e pigmentos (<0,5%)	LED por 40 segundos	Ivoclar/Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein
QuiXfil	Universal	Resina direta híbrida	1 e 10 µm	86%	UDMA; TEGDMA; Resinas de di- e trimetacrilato; Dimetacrilato modificado com ácido carboxílico; BHT; Estabilizador de UV; CQ; Etilo-4-dimetilaminobenzoato; Vidro silicato silanizado estrôncio alumínio sódico de fosfato de flúor	LED por 20 segundos	Dentsply Detrey GmbH D78467, Konstanz, Alemanha
SR Adoro	A2 D4	Resina indireta	1 e 10 µm	65%	Bis-GMA (20-42%); TEGDMA (6-10%); UDMA (1-20%); DM-DMA (0-7%); SiO ₂ altamente disperso (19,8%); Copolímero (62,9%); Estabilizadores e catalisadores (0,4%); Pigmentos (0,1-0,3%)	LED por 40 segundos e Luz/calor (Targis Power Upgrade) por 11 minutos	Ivoclar/Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein

Bis-GMA – Bisfenol A-glicidil dimetacrilato; Bis-EMA – Bisfenol A dimetacrilato etoxilato; UDMA – Dimetacrilato de uretano; TEGDMA – Dimetacrilato trietilenoglicol; DM-DMA – Decametildimetacrilato; YbF₃ – Trifluoreto de íterbio; BHT – Butilato hidróxi tolueno; CQ – Canforoquinona; SiO₂ – Dióxido de silício; Ba – Bário

4.2. Método

4.2.1. Confeção da matriz

Para a obtenção dos corpos-de-prova foi confeccionada uma matriz de teflon (Figura 02A) com interior perfeitamente liso, formada por duas partes encaixadas: uma porção externa e outra interna na forma de êmbolo, com 12 mm de diâmetro. Acompanhando a matriz haverá um espaçador de 2 mm de espessura que será encaixado no êmbolo entre as porções superior e inferior da matriz, de forma que a parte externa da matriz ficará 2 mm mais alta que a interna, proporcionando a espessura adequada do corpo-de-prova.

4.2.2. Obtenção dos corpos-de-prova

As embalagens dos materiais restauradores foram mantidas nos ambientes de armazenamento por 30 dias e nenhum corpo-de-prova foi obtido. Após esse tempo, foram obtidos os primeiros corpos-de-prova, sendo considerados como tempo 30 (T30). Após 60 dias da obtenção dos primeiros, outros corpos-de-prova foram obtidos, da mesma forma que os obtidos anteriormente, sendo considerados como tempo 90 (T90).

Foram obtidos 252 corpos-de-prova, sendo vinte e oito amostras de cada material estudado, que foram distribuídas em grupos conforme a Tabela 02. Quatorzes dessas amostras foram obtidos a partir de materiais armazenados à temperatura ambiente e outras quatorze a partir das

embalagens mantidas em ambiente refrigerado. Destes, sete amostras foram obtidas em T30 e outras sete em T90.

Tabela 02 – Codificação dos grupos estudados segundo os compósitos, a cor, o ambiente e o tempo de armazenagem.

Resina	Cor	Armazenagem	Tempo	Grupo
Heliomolar	A2	Ambiente	30	HM/A2/A/T30
			90	HM/A2/A/T90
		Geladeira	30	HM/A2/G/T30
			90	HM/A2/G/T90
	C3	Ambiente	30	HM/C3/A/T30
			90	HM/C3/A/T90
		Geladeira	30	HM/C3/G/T30
			90	HM/ C3/G/T90
4 Seasons	A2	Ambiente	30	4S/A2/A/T30
			90	4S/A2/A/T90
		Geladeira	30	4S/A2/G/T30
			90	4S/A2/G/T90
	C3	Ambiente	30	4S/C3/A/T30
			90	4S/C3/A/T90
		Geladeira	30	4S/C3/G/T30
			90	4S/C3/G/T90
Tetric EvoCeram	A2	Ambiente	30	TT/A2/A/T30
			90	TT/A2/A/T90
		Geladeira	30	TT/A2/G/T30
			90	TT/A2/G/T90
	C3	Ambiente	30	TT/C3/A/T30
			90	TT/C3/A/T90
		Geladeira	30	TT/C3/G/T30
			90	TT/C3/G/T90
QuiXfil Universal		Ambiente	30	QX/U/A/T30
			90	QX/U/A/T90
		Geladeira	30	QX/U/G/T30
			90	QX/U/G/T90
Adoro	A2	Ambiente	30	AD/A2/A/T30
			90	AD/A2/A/T90
		Geladeira	30	AD/A2/G/T30
			90	AD/A2/G/T90
	D4	Ambiente	30	AD/C3/A/T30
			90	AD/C3/A/T90
		Geladeira	30	AD/C3/G/T30
			90	AD/C3/G/T90

Dos corpos-de-prova de cada compósito, seis foram submetidos ao processo de envelhecimento artificial e utilizados para análise da cor e opacidade. Para determinação da densidade das ligações cruzadas, foi utilizado um corpo-de-prova de cada grupo, que não foi submetido ao processo de envelhecimento artificial e um corpo-de-prova submetido ao envelhecimento acelerado, que foi reaproveitado do grupo que foi realizado a leitura da cor e opacidade, já que estes ensaios não são destrutivos.

Na confecção e obtenção dos corpos-de-prova, cada resina foi inserida no interior da matriz em dois incrementos, sendo que o último incremento foi pressionado por uma lamínula de vidro para haver o escoamento de excesso de material resinoso (Figuras 02B e 02C). A técnica escolhida elimina a presença de ar da superfície do compósito, impedindo a formação de uma camada superficial com polimerização inibida pelo oxigênio.

A fotopolimerização foi realizada com fotopolimerizador LED (Ultraled XP, Dabi Atlante, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil - 500 mW/cm², luz de comprimento de onda na faixa entre 450 e 480 nm) (Figura 02E). Para o sistema SR Adoro a polimerização foi realizada utilizando luz e calor, utilizando o Targis Power Upgrade (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) (Figura 02F), na temperatura de 104°C.

Após a polimerização, os corpos-de-prova foram removidos da matriz, removendo o espaçador que fornecia a altura, empurrando a base em forma de um êmbolo.

Em seguida, os corpos-de-prova receberam polimento superficial através da utilização do sistema de acabamento e polimento dental extrafino Sof-Lex (3M Dental Products, St. Paul, MN, USA) (Figura 01D) na seqüência

decrecente de abrasividade com movimentos intermitentes, intercalados com o umedecimento da superfície do corpo-de-prova com a finalidade de impedir a ocorrência de superaquecimento e conseqüente alteração de superfície.

Todos os corpos-de-prova foram codificados e armazenados em recipientes isolados e mantidos na ausência de luz até sua colocação no Sistema de Envelhecimento Acelerado (Comexim Matérias Primas Ltda, São Paulo, Brasil). Previamente a esta etapa, foram realizadas as primeiras leituras de cor das amostras para análise de estabilidade de cor e opacidade. Essas amostras foram consideradas controle.

Figura 02: A – matriz de teflon para confecção dos corpos-de-prova; B – inserção do primeiro incremento de resina na matriz; C – laminula de vidro para aplainamento de superfície; D – realização do polimento com Sof-Lex; E – fotopolimerizador Ultraled XP; F – unidade polimerizadora - Targis Power Upgrade Upgrade

4.3. Realização dos ensaios

4.3.1. Espectrofotometria colorimétrica

4.3.1.1. Análise da estabilidade de cor

Para avaliar as alterações de cor sofridas pelas resinas submetidas ao processo de envelhecimento acelerado foi utilizado o Espectrofotômetro PCB 6807 BYK GARDNER (Geretsried, Alemanha) (Figura 03). Para a leitura da cor, as amostras foram inicialmente colocadas sobre o bloco de fundo padrão branco (White Standard Sphere for 45°, 0° Reflectance and Color Gardner Laboratory Inc. Bethesda) (Figura 04).

O padrão de observação simulado pelo colorímetro Espectrofotométrico segue o sistema CIE $L^*a^*b^*$, recomendado pela CIE (Comission Internationale de l'Éclairage) e amplamente usado atualmente. Este consiste de dois eixos a^* e b^* , que possuem ângulos retos e representam a dimensão da tonalidade ou cor. O terceiro eixo é o brilho L^* . Este é perpendicular ao plano a^*b^* . Com este sistema qualquer cor pode ser especificada com as coordenadas L^* , a^* , b^* (Figura 05).

Em seguida, as amostras foram acopladas sob o Espectrofotômetro e após o acionamento, 30 lâmpadas LED, com 10 cores diferentes, dispostas de forma circular, acendem e incidem o feixe de luz em 45° com a superfície do material, utilizando iluminante padrão primário D65, que simula o espectro da luz do dia. Esse feixe é refletido em 0° de volta para o aparelho e assim, este

capta e registra os valores de L^* , a^* e b^* de cada amostra. O observador padrão utilizado foi de 10° , lendo uma maior área do corpo-de-prova.

Figura 03 – Espectrofotômetro PCB 6807 BYK GARDNER

Figura 04 – Fundo padrão branco e preto

Figura 05 – Sistema de coordenadas de cores de CIE $L^*a^*b^*$

Posteriormente a esta leitura da cor inicial, as amostras foram submetidas a 384 horas de ação de envelhecimento artificial acelerado, que corresponde a 10 anos de envelhecimento natural (ASTM, 2006) e nova leitura da cor foi realizada após o envelhecimento acelerado. A estabilidade de cor

dos materiais foi determinada pela diferença (ΔE) entre as coordenadas obtidas das amostras antes e após o procedimento de envelhecimento.

O ΔE é calculado a partir da fórmula:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

onde:

ΔE^* = alteração de cor

ΔL^* = diferença na luminosidade (L^*)

Δa^* = diferença no eixo a^*

Δb^* = diferença no eixo b^*

A direção da diferença de cor é descrita pelas magnitudes e sinais algébricos das componentes ΔL^* , Δa^* e Δb^* :

$$\Delta L^* = L^*_I - L^*_F$$

$$\Delta a^* = a^*_I - a^*_F$$

$$\Delta b^* = b^*_I - b^*_F$$

onde L^*_I , a^*_I e b^*_I referem-se à medição inicial da cor e L^*_F , a^*_F e b^*_F referem-se à medição final da cor.

Valores de $\Delta E \geq 3,3$ são considerados clinicamente inaceitáveis (RUYTER et al., 1987).

4.3.1.2. Análise da opacidade

Para a avaliação da opacidade os corpos-de-prova foram submetidos às leituras de cor, pelo espectrofotômetro colorimétrico, sobre fundo padrão branco e padrão preto (White and Black Standard Sphere for 45°, 0° Reflectance and Color Gardner Laboratory Inc. Bethesda) (Figura 04), sendo que somente a coordenada L^* foi considerada.

Quando a amostra foi submetida à leitura sobre fundo preto, obteve-se L^*_p . Quando a leitura foi efetuada sobre fundo branco, L^*_b . A opacidade foi calculada pela fórmula:

$$OP = \frac{L^*_p}{L^*_b}$$

onde:

OP = opacidade

L^*_p = luminosidade da amostra sobre fundo padrão preto

L^*_b = luminosidade da amostra sobre fundo padrão branco

A variação da opacidade (ΔOP) foi calculada pela diferença entre os valores antes e após envelhecimento artificial acelerado.

4.3.2. Densidade das ligações cruzadas

Para a mensuração da densidade das ligações cruzadas, foram utilizadas duas amostras de cada material. Uma amostra não envelhecida e outra submetida ao processo de envelhecimento artificial acelerado. As amostras foram submetidas ao teste de dureza utilizando o equipamento digital de microdureza Shimadzu Micro Hardness Testers HMT-2 Series (Shimadzu Corporation – Hyoto, Japan) (Figura 06). O microdurômetro acionou uma ponta penetradora de diamante com forma piramidal de base losangular sob carga vertical estática de 500 g aplicada por 15 segundos e a leitura foi realizada com a objetiva de 10X.

Quando acionado, a ponta penetradora realizou uma compressão na superfície da amostra, gerando uma figura geométrica em forma de pirâmide inversa, visualizando pelo contraste entre a impressão e a superfície.

O losango possibilita a determinação da microdureza superficial do material a partir da mensuração de sua maior diagonal, cujo valor é aplicado em uma fórmula matemática para obtenção de resultados. O microdurômetro usado neste estudo realiza os cálculos automaticamente, a partir das duas marcas verticais perpendiculares sobrepostas a maior diagonal do losango (Figura 07). Assim, o resultado da dureza Knoop aparece na tela do aparelho através do cálculo feito pelo software da seguinte equação:

$$\text{KHN} = 1,451 \frac{F}{d^2}$$

onde:

KHN = valor de dureza Knoop (Knoop Hardness Number)

F = 500 gramas

d = comprimento da maior diagonal da endentação

Figura 06 – Shimadzu Micro Hardness Testers HMV-2 Series

Figura 07 – Imagem da compressão realizada para avaliação da microdureza em aumento de 10X e mensuração da maior diagonal (simulação).

Este procedimento de marcação e leitura foi repetido três vezes por amostra, obtendo a média destas leituras, que foi denominada de KHN1. Estas amostras foram armazenadas em solução de etanol/água destilada 75% (Ciclofarma – BMCiclo Álcool Hidratado) num período de 24 horas em temperatura ambiente e, após este período, as amostras, retiradas da solução de etanol e secas com papel toalha, foram submetidas a novas leituras da microdureza. Esta leitura final permitiu a obtenção dos valores de KHN2. Para determinar a densidade das ligações cruzadas pelo método indireto (ΔKHN), utilizou-se a seguinte equação:

$$\Delta KHN = KHN1 - KHN2$$

onde:

ΔKHN = densidade das ligações cruzadas da amostra (método indireto)

KHN1 = valor da dureza Knoop da amostra obtida antes de sua imersão em solução de etano/água destilada 75%

KHN2 = valor da dureza Knoop da amostra obtida depois de sua imersão em solução de etano/água destilada 75%

4.4. Envelhecimento artificial acelerado

O sistema de envelhecimento acelerado simula forças da natureza predizendo a durabilidade relativa dos materiais expostos às intempéries. A chuva e a neblina são simuladas por processo de condensação de água

destilada saturada e o oxigênio auto gerado pelo sistema. Os efeitos da luz do sol, onde apenas 1% da radiação provoca degradação, são simuladas por uma rede de oito fontes de luz UV-B composta por tubos fluorescentes de 40 watts com emissão concentrada na região ultravioleta B, com radiação concentrada em 280/320 nm como na natureza. A temperatura de exposição é automaticamente controlada de acordo com os programas estabelecidos para ciclos UV/condensação.

As amostras foram colocadas no aparelho de Sistema Acelerado de Envelhecimento para não-metálicos C-UV (Comexim Matérias Primas Ltda, São Paulo, Brasil) (Figura 08) sob ação de luz UV e de condensação, as quais foram acionadas em ciclos separados repetidos sucessiva e automaticamente. O processo de condensação foi reproduzido com a exposição de uma das superfícies dos corpos-de-prova uma mistura aquecida de vapor de água saturada de ar enquanto que o lado oposto da amostra foi utilizado para sua aderência às placas metálicas que as sustentará.

Para a utilização do sistema de envelhecimento acelerado para não metálicos C-UV, seguindo a norma ASTM-G-53.

Os corpos-de-prova foram aderidos às placas fixadoras do aparelho (Figura 09) utilizando-se silicone indicado para tal, e levados à câmara de condensação frente à fonte de luz, numa distância de 50 mm desta. O programa de funcionamento fixado foi de 4 horas de exposição à UV-B a 50°C e 4 horas de condensação a 50° C e o tempo máximo de envelhecimento de 384 horas, correspondendo a um total de 10 anos de uso pelo paciente.

Foram realizadas as leituras da cor, opacidade e da densidade das ligações cruzadas nas amostras, previamente e posteriormente a ação da

máquina de envelhecimento artificial acelerado, avaliando assim as propriedades dos compósitos odontológicos.

Figura 08 – Sistema Acelerado de Envelhecimento para não-metálicos C-UV

Figura 09 – Corpos-de-prova fixados às placas da máquina de envelhecimento artificial

5. RESULTADOS

5. RESULTADOS

5.1. Alteração de cor

Os valores espectrofotométricos para alteração de cor obtida antes e após a realização do procedimento de envelhecimento artificial acelerado, de cada corpo-de-prova de todos os compósitos estudados podem ser vistos nos Apêndices I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII e IX. Os valores obtidos foram submetidos à análise estatística (2-way ANOVA – Tukey – nível de significância em $p < 0.05$). A Tabela 03 apresenta os valores médios da alteração de cor (ΔE), seus respectivos desvio padrão, e a análise estatística, dos compósitos pesquisados.

Tabela 03 – Valores médios de ΔE , desvio padrão e análise estatística dos compósitos estudados.

Compósito/Cor	Ambiente		Geladeira	
	T30	T90	T30	T90
Heliomolar A2	1,95(1,17) ^{aA}	2,26(1,77) ^{aA}	1,45(0,33) ^{aA}	1,86(0,50) ^{aA}
Heliomolar C3	2,58(0,91) ^{aA}	2,61(0,87) ^{aA}	3,94(0,87) ^{abB}	4,62(2,02) ^{bB}
Tetric EvoCeram A2	3,14(0,59) ^{abA}	4,23(1,26) ^{aA}	2,32(0,89) ^{bA}	2,25(0,66) ^{bA}
Tetric EvoCeram C3	5,44(1,90) ^{aB}	6,64(1,07) ^{aB}	5,29(1,61) ^{aB}	6,81(0,86) ^{aB}
4Seasons A2	2,59(1,01) ^{aA}	2,93(0,98) ^{aA}	3,06(0,45) ^{aA}	4,09(1,64) ^{aA}
4Seasons C3	2,08(0,70) ^{aA}	2,28(1,63) ^{aA}	0,91(0,50) ^{aB}	1,75(1,23) ^{aB}
QuiXfil Universal	5,77(2,13) ^a	6,80(0,80) ^{ab}	6,45(1,61) ^a	8,33(0,87) ^b
SR Adoro A2	4,34(0,44) ^{aA}	3,93(0,85) ^{aA}	4,88(0,87) ^{aA}	3,83(0,73) ^{aA}
SR Adoro D4	2,27(0,54) ^{aB}	1,81(0,65) ^{aB}	2,46(0,53) ^{aB}	2,35(0,94) ^{aA}

Letra maiúscula diferente na coluna indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Letra minúscula diferente na linha indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Todos os compósitos estudados apresentaram alguma alteração de cor após o procedimento de envelhecimento artificial, seja ela discreta ou clinicamente inaceitável ($\Delta E \geq 3,3$). Os compósitos Tetric EvoCeram C3 e QuiXfil Universal, seguidos pela SR Adoro A2 foram os que apresentaram maiores valores numéricos para ΔE , mostrando grande alteração de cor em todos os ambientes e tempos pesquisados.

A seguir serão analisados os valores de alterações de cor obtidos no sistema de coordenadas de cor CIE L*a*b* de cada compósito, em todos os ambientes e tempos de armazenagem pesquisados.

5.1.1. Alteração de cor observada para o compósito Heliomolar

Gráfico 01 – Alteração de cor do compósito Heliomolar nas cores A2 e C3.

A alteração de cor observada no compósito Heliomolar A2 não sofreu influência do ambiente e do tempo de armazenagem ($p > 0,05$). Já para a resina

Heliomolar C3, em HM/C3/G/T90 ($\Delta E=4,62\pm 2,02$) foi observada diferença estatisticamente significativa ($p<0,05$) em relação aos grupos armazenados em temperatura ambiente, demonstrando que o ambiente de armazenagem influenciou nos resultados obtidos para o compósito Heliomolar C3.

Quando armazenados em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$), a alteração de cor não foi significativa ($p>0,05$) nem em função do tempo de armazenagem nem em relação à cor do compósito. Ambos se comportaram de maneira semelhante. O mesmo não aconteceu quando estes compósitos foram armazenados em geladeira ($\pm 8^{\circ}\text{C}$); pois tanto em T30, quanto em T90, observou-se diferença estatisticamente significativa ($p<0,05$) para ambas as cores dos compósitos.

Houve alteração de cor considerada clinicamente inaceitável somente para o compósito Heliomolar C3 armazenado em geladeira ($\Delta E\geq 3,3$) em todos os períodos de armazenamento pesquisados. Para os demais grupos formados por essa resina a alteração de cor foi dentro dos limites aceitáveis de variação.

5.1.2. Alteração de cor observada para o compósito Tetric EvoCeram

Gráfico 02 – Alteração de cor do compósito Tetric EvoCeram nas cores A2 e C3.

No Gráfico 02, podemos observar que o comportamento da resina Tetric EvoCeram A2 quanto à alteração de cor foi influenciado diretamente pelo ambiente de armazenagem, apresentando um ΔE menor quando a resina foi armazenada em geladeira. Analisando-se o tempo de armazenamento dentro de um mesmo ambiente, não houve alteração de cor significativa ($p > 0,05$) influenciou na alteração de cor percebida para resina ($p < 0,05$). O mesmo não ocorreu com a resina Tetric EvoCeram C3, onde o ambiente e o tempo de armazenamento não influenciaram na alteração de cor observada neste compósito ($p > 0,05$).

Os comportamentos das resinas Tetric EvoCeram A2 e C3 foram diferentes estatisticamente para todas as variáveis ($p < 0,05$), sendo que a

resina C3 apresentou os maiores valores de ΔE , considerados clinicamente inaceitáveis para todos os ambientes e tempos de armazenagem.

5.1.3. Alteração de cor observada para o compósito 4 Seasons

Gráfico 03 – Alteração de cor do compósito 4 Seasons nas cores A2 e C3.

Os valores médios de ΔE obtidos para o compósito 4 Seasons, nas duas cores estudadas (A2 e C3), podem ser observados no Gráfico 03. A análise do comportamento dessas resinas em relação ao ambiente e tempo de armazenagem constatou que ambas as variáveis não promoveram nenhuma influência significativa sob as cores deste compósito ($p > 0,05$).

Comparando-se as resinas 4 Seasons A2 e 4 Seasons C3, verificou-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre valores de ΔE ($p > 0,05$), quando estas são armazenadas em temperatura ambiente ($\pm 25^\circ\text{C}$). Porém quando estes dois compósitos foram armazenados em geladeira ($\pm 8^\circ\text{C}$), os valores obtidos de ΔE foram estatisticamente significantes ($p < 0,05$).

nos dois períodos estudados, sendo que a resina C3 apresentou os menores valores de ΔE quando armazenados em geladeira, demonstrando que o ambiente interferiu diretamente na estabilidade de cor desses materiais.

O compósito 4 Seasons só apresenta valor clinicamente inaceitável para ΔE , na cor A2 e quando este é armazenado em temperatura ambiente por um período de 90 dias. A resina 4 Seasons C3 apresenta baixos valores de ΔE , em todos os ambientes e tempos estudados, quando esta resina é comparada à todos outros compósitos pesquisados.

5.1.4. Alteração de cor observada para o compósito QuiXfil

Gráfico 04 – Alteração de cor do compósito QuiXfil Universal.

A resina QuiXfil é comercializada em uma só tonalidade, a universal. Este compósito, quando armazenado em geladeira por um período de 90 dias, apresentou resultados estatisticamente semelhantes ($p>0,05$) aos valores encontrados quando armazenados em temperatura ambiente, pelo mesmo período; e diferentes estatisticamente ($p<0,05$) dos demais (Ambiente e Geladeira T30).

Este compósito apresentou os maiores valores médios para ΔE , para todos os ambientes e tempos estudados, sendo todos eles clinicamente inaceitáveis. O menor valor encontrado para ΔE foi em Ambiente T30 (Figura 09) e o maior valor para Geladeira T90.

Figura 10 – Resina composta QuiXfil Universal armazenada em temperatura ambiente por 30 dias, antes e após o envelhecimento artificial.

5.1.5. Alteração de cor observada para o compósito SR Adoro

Gráfico 05 – Alteração de cor do compósito SR Adoro nas cores A2 e D4.

No Gráfico 05, observa-se que para o compósito SR Adoro, as duas tonalidades estudadas (A2 e D4), não sofreram influência do ambiente e do tempo de armazenamento ($p > 0,05$).

Os compósitos SR Adoro armazenados em temperatura ambiente, tanto em T30 quanto em T90, apresentaram valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$) em função das cores estudadas (A2 e D4), de forma que a resina D4 apresentou menores valores de ΔE . Para os compósitos armazenados em geladeira, também foi encontrada diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre A2 e D4, mas agora somente em T30, onde a cor D4 apresentou menor alteração.

A resina indireta SR Adoro A2 apresentou, em todos os ambientes e tempos pesquisados, valores médios para $\Delta E \geq 3,3$, ou seja, foram clinicamente inaceitáveis, caracterizando uma pobre estabilidade de cor deste compósito na cor A2 após o envelhecimento artificial acelerado. Contudo, para o compósito SR Adoro D4, ocorreu o inverso, ou seja, em todos os ambientes e tempos estudados, esta cor apresentou valores para $\Delta E < 3,3$, resultando em uma melhor estabilidade de cor quando comparada à resina anterior.

Os compósitos estudados foram divididos em dois grupos, tomando como critério para esta divisão, a cor da resina composta. O grupo denominado “Compósitos Claros” foi constituído pelos compósitos de cor A2 e QuiXfil Universal. O outro grupo, denominado “Compósitos Escuros”, foi composto pelas resinas de cores C3, D4 e QuiXfil Universal. Nota-se que o compósito QuiXfil foi inserido em ambos os grupos. Isto ocorreu, pois tal compósito é considerado um material restaurador universal, apresentado comercialmente em uma única tonalidade de cor. Por isso, foi considerado tanto “Compósito Claro” como “Compósito Escuro”.

5.1.6. Alteração de cor observada para os Compósitos Claros

A Tabela 04 apresenta os valores médios, o desvio padrão e a análise estatística do grupo designado de Compósitos Escuros.

Tabela 04 – Valores médios de ΔE , desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Claros

Compósitos Claros	Ambiente		Geladeira	
	T30	T90	T30	T90
Heliomolar A2	1,95(1,17) ^{a,A}	2,26(1,77) ^{a,A}	1,45(0,33) ^{a,A}	1,86(0,50) ^{a,A}
Tetric EvoCeram A2	3,14(0,59) ^{a,b,A,B}	4,23(1,26) ^{a,B}	2,32(0,89) ^{b,A}	2,25(0,66) ^{b,A,D}
4Seasons A2	2,59(1,01) ^{a,A}	2,93(0,98) ^{a,A,B}	3,06(0,45) ^{a,A}	4,09(1,64) ^{a,B}
QuiXfil U	5,77(2,13) ^{a,C}	6,80(0,80) ^{a,b,C}	6,45(1,61) ^{a,B}	8,33(0,87) ^{b,C}
SR Adoro A2	4,34(0,44) ^{a,B,C}	3,93(0,85) ^{a,B}	4,88(0,87) ^{a,B}	3,83(0,73) ^{a,B,D}

Letra maiúscula diferente na coluna indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0,05$)

Letra minúscula diferente na linha indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0,05$)

Comparando os Compósitos Claros no mesmo ambiente e tempo de armazenagem observou-se que, quando armazenados em temperatura ambiente por 30 dias, não verificou-se diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) para os compósitos Heliomolar, Tetric EvoCeram e 4 Seasons. A resina indireta SR Adoro não apresentou diferença estatística ($p > 0,05$) de Quixfil e Tetric, porém foi diferente estatisticamente ($p < 0,05$) dos demais compósitos.

Quando armazenados por 90 dias (T90) em temperatura ambiente ($\pm 25^\circ\text{C}$), os comportamentos de todas as resinas foram muito heterogêneos, sendo que a resina universal QuiXfil apresentou a maior alteração de cor com valor médio estatisticamente diferente ($p < 0,05$) dos outros compósitos. A menor alteração de cor, com valores clinicamente aceitáveis ($\Delta E < 3,3$) ocorreu

para a resina Heliomolar seguida da resina 4 Seasons. Para as demais resinas, os valores de ΔE são considerados clinicamente inaceitáveis.

Quando estes compósitos foram armazenados em geladeira ($\pm 8^{\circ}\text{C}$) no período de T30, a maior alteração de cor ocorreu para as resinas QuiXfil seguida da SR Adoro, cujos valores médios de ΔE foram diferentes estatisticamente dos demais compósitos ($p>0,05$), não havendo diferença entre eles ($p>0,05$).

Analisando os valores de ΔE para o tempo T90 em geladeira, os comportamentos de todos os compósitos foram mais uma vez bem heterogêneos, sendo que a maior alteração de ΔE ocorreu para a resina composta QuiXfil, cujos valores foram estatisticamente significantes dos demais compósitos ($p<0,05$). A menor alteração ocorreu para a resina Heliomolar, com valores estatisticamente semelhantes somente em relação à resina Tetric. Valores intermediários foram encontrados para as resinas SR Adoro e 4 Seasons, cujos valores são estatisticamente semelhantes entre si ($p>0,05$).

Comparando-se os resultados em função do tempo de armazenagem em um mesmo ambiente verificou-se que à temperatura ambiente, os compósitos não sofreram influência do tempo de armazenamento ($p>0,05$). Quando os compósitos foram armazenados em geladeira, o tempo de armazenagem só influenciou de maneira significativa ($p>0,05$) o comportamento do compósito QuiXfil. Para os demais compósitos, o tempo de armazenagem não influenciou na alteração de cor.

Comparando os Compósitos Claros em função do Ambiente, em um mesmo tempo de armazenagem (Tabela 04), observamos que não houve

diferença estatisticamente significativa ($p>0,05$) entre as variáveis para o grupo T30. Quando analisados os resultados para T90, observou-se que os únicos valores estatisticamente significantes ($p<0,05$) ocorreram para a resina Tetric EvoCeram. Os demais Compósitos Claros, armazenados por 90 dias, apresentaram valores semelhantes entre si ($p>0,05$).

5.1.7. Alteração de cor observada para os Compósitos Escuros

A Tabela 05 apresenta os valores médios da alteração de cor, o desvio padrão e a análise estatística do grupo designado de Compósitos Escuros.

Tabela 05 – Valores médios de ΔE , desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Escuros

Compósitos Escuros	Ambiente		Geladeira	
	T30	T90	T30	T90
Heliomolar C3	2,58(0,91) ^{a,A}	2,61(0,87) ^{a,A}	3,94(0,87) ^{a,b,A,D}	4,62(2,02) ^{b,A}
Tetric EvoCeram C3	5,44(1,90) ^{a,B}	6,64(1,07) ^{a,B}	5,29(1,61) ^{a,A,C}	6,81(0,86) ^{a,B}
4Seasons C3	2,08(0,70) ^{a,A}	2,28(1,63) ^{a,A}	0,91(0,50) ^{a,B}	1,75(1,23) ^{a,C}
QuiXfil U	5,77(2,13) ^{a,B}	6,80(0,80) ^{a,b,B}	6,45(1,61) ^{a,C}	8,33(0,87) ^{b,B}
SR Adoro D4	2,27(0,54) ^{a,A}	1,81(0,65) ^{a,A}	2,46(0,53) ^{a,B,D}	2,35(0,94) ^{a,C}

Letra maiúscula diferente na coluna indica resultados estatisticamente significantes ($p<0.05$)

Letra minúscula diferente na linha indica resultados estatisticamente significantes ($p<0.05$)

Comparando os Compósitos Escuros no mesmo ambiente e tempo de armazenagem observou-se que, para o tempo T30, as resinas Heliomolar, Tetric EvoCeram e SR Adoro apresentaram valores semelhantes entre si ($p>0,05$); e todos estes compósitos foram estatisticamente diferente ($p<0,05$) do compósito QuiXfil e de SR Adoro. O mesmo comportamento ocorreu para o

tempo de armazenagem T90. Quando os compósitos foram armazenados em geladeira, porém, este comportamento não se repetiu.

Para o tempo T30, a menor alteração de cor ocorreu para o compósito 4 Seasons, resultado estatisticamente semelhante ($p>0,05$) ao SR Adoro. As maiores alterações de cor ocorreram para os compósitos QuiXfil e Tetric EvoCeram, com médias estatisticamente semelhantes entre si ($p>0,05$) porém diferentes dos demais compósitos estudados. Resultado intermediário foi encontrado para a resina Heliomolar, com média estatisticamente semelhante às resinas Tetric EvoCeram e SR Adoro e diferente das demais.

O compósito Heliomolar C3 em T90, comportou-se de maneira significativamente diferente ($p<0,05$) dos demais Compósitos Escuros. A resina composta Tetric EvoCeram apresentou grande alteração, sendo semelhante estatisticamente ($p>0,05$) a QuiXfil. Os compósitos 4 Seasons e SR Adoro, apresentaram valores semelhantes entre si ($p>0,05$) e estatisticamente diferentes ($p<0,05$) dos demais compósitos.

Comparando-se os resultados em função do tempo de armazenagem em um mesmo ambiente verificou-se que os Compósitos Escuros (Tabela 05) comportaram-se de maneira semelhante aos Compósitos Claros (Tabela 04), ou seja, quando os Compósitos Escuros foram armazenados em Ambiente, o tempo de armazenagem (T30 e T90) não influenciou de maneira estatisticamente significativa ($p>0,05$). Já para os Compósitos Escuros armazenados em Geladeira, o tempo de armazenagem só foi estatisticamente significativo para a resina universal QuiXfil. Para os demais, o tempo de armazenagem não influenciou estatisticamente ($p>0,05$) os valores para ΔE .

Comparando os Compósitos Escuros em função do Ambiente, em um mesmo tempo de armazenagem (Tabela 05), observamos que o ambiente de armazenagem não influenciou estatisticamente estes compósitos, quando armazenados por 30 dias. O mesmo não ocorreu para os armazenados por 90 dias, pois a resina Heliomolar apresentou valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$) quando armazenados em diferentes ambientes. Os outros Compósitos Escuros, armazenados por 90 dias, não apresentaram valores estatisticamente iguais ($p > 0,05$).

5.2. Opacidade

Os valores referentes ao eixo L^* de todos os compósitos estudados, no fundo padrão branco e preto, antes e após o envelhecimento artificial, encontram-se em anexo (Apêndice X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII e XVIII).

5.2.1. Análise da Opacidade Inicial (OI) e da Opacidade Final (OF)

Nas Tabelas a seguirem vemos as médias e os desvios-padrões da Opacidade Inicial (OI) e da Opacidade Final (OF) dos Compósitos Claros (Tabela 06 e 07) e dos Compósitos Escuros (Tabela 08 e 09), em todos os ambientes e tempos estudados. Estes valores foram submetidos à análise estatística (2-way ANOVA – Tukey – nível de significância em $p < 0,05$), analisando separadamente os valores para OI e para OF.

Tabela 06 – Valores médios da Opacidade Inicial (OI), desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Claros.

Compósitos Claros	Ambiente		Geladeira	
	T30	T90	T30	T90
Heliomolar A2	96,82(0,005) ^{a,A}	96,97(0,003) ^{a,A}	97,12(0,003) ^{a,A}	96,73(0,006) ^{a,A}
Tetric EvoCeram A2	91,32(0,010) ^{a,B}	90,73(0,007) ^{a,B}	91,83(0,005) ^{a,B}	89,13(0,012) ^{b,B}
4 Seasons A2	90,65(0,024) ^{a,B}	89,23(0,023) ^{ab,C}	89,73(0,003) ^{b,C}	91,20(0,006) ^{c,C}
QuiXfil U	86,35(0,005) ^{a,C}	85,80(0,006) ^{a,D}	86,08(0,011) ^{a,D}	85,60(0,005) ^{a,D}
SR Adoro A2	95,15(0,005) ^{a,D}	95,85(0,004) ^{a,AE}	95,45(0,006) ^{a,E}	95,57(0,004) ^{a,A}

Letra maiúscula diferente na coluna indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Letra minúscula diferente na linha indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Tabela 07 – Valores médios da Opacidade Final (OF), desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Claros.

Compósitos Claros	Ambiente		Geladeira	
	T30	T90	T30	T90
Heliomolar A2	97,70(0,005) ^{a,A}	97,53(0,002) ^{a,A}	97,64(0,003) ^{a,A}	97,55(0,005) ^{a,A}
Tetric EvoCeram A2	93,77(0,005) ^{a,B}	93,92(0,004) ^{a,B}	94,07(0,008) ^{a,B}	91,42(0,007) ^{b,B}
4 Seasons A2	92,40(0,018) ^{a,C}	90,87(0,014) ^{ab,C}	91,77(0,005) ^{b,C}	93,93(0,005) ^{c,C}
QuiXfil U	91,47(0,015) ^{a,C}	90,15(0,005) ^{a,C}	90,55(0,014) ^{a,C}	90,15(0,005) ^{a,D}
SR Adoro A2	95,78(0,004) ^{a,D}	96,12(0,003) ^{a,D}	96,40(0,008) ^{a,D}	95,92(0,004) ^{a,E}

Letra maiúscula diferente na coluna indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Letra minúscula diferente na linha indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Para os Compósitos Claros (Tabelas 06 e 07), quando comparado o mesmo compósito nos diferentes ambientes e tempos pesquisados, o comportamento observado para a Opacidade Inicial foi semelhante aos observados para a Opacidade Final, sendo que não houve diferenças estatisticamente significantes ($p > 0,05$) para as resinas Heliomolar, QuiXfil e SR Adoro antes ou após o envelhecimento. Para as demais resinas, houve diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,05$) para a resina Tetric EvoCeram armazenada em Geladeira T90 em relação aos demais ambientes e tempos de armazenagem pesquisados, bem como para a resina 4 Seasons

que apresentou valores bastante heterogêneos, de forma que os compósitos armazenados em geladeira apresentaram valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$) dos armazenados ao ambiente, situação esta que apresentou valores estatisticamente semelhantes entre si ($p > 0,05$). Quando armazenado em Geladeira, os resultados obtidos diferem estatisticamente entre si.

Tanto antes como após o envelhecimento artificial acelerado, os valores de opacidade seguem uma ordem decrescente de valores, para todos os tempos e ambientes de armazenagem: Heliomolar, SR Adoro, Tetric EvoCeram, 4 Seasons e QuiXfil. Os valores encontrados diferem estatisticamente ($p < 0,05$) na maioria das variáveis, principalmente para OI, com exceção para a armazenagem em ambiente no período de 30 dias, em que houve semelhança estatística ($p > 0,05$) dos resultados entre Tetric EvoCeram e 4 Seasons e, quando armazenados em Geladeira por um período de 90 dias, as resinas Heliomolar e SR Adoro apresentaram valores também semelhantes ($p > 0,05$).

Para a Opacidade Final (OF), o comportamento das resinas 4 Seasons e QuiXfil foram semelhantes, com valores estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$) quando armazenados em Ambiente (T30 e T90) e Geladeira, exceção para T90. Os demais compósitos apresentaram valores de OF diferentes estatisticamente entre si ($p < 0,05$).

Tabela 08 – Valores médios da Opacidade Inicial (OI), desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Escuros.

Compósitos Escuros	Ambiente		Geladeira	
	T30	T90	T30	T90
Heliomolar C3	98,93(0,003) ^{a,A}	98,72(0,002) ^{a,A}	99,08(0,002) ^{a,A}	98,87(0,003) ^{a,A}
Tetric EvoCeram C3	91,28(0,017) ^{a,B}	92,03(0,007) ^{a,B}	92,53(0,006) ^{a,B}	92,22(0,004) ^{a,B}
4 Seasons C3	90,73(0,006) ^{a,B}	91,98(0,031) ^{a,B}	91,40(0,010) ^{a,B}	90,67(0,005) ^{a,C}
QuiXfil U	86,35(0,005) ^{a,C}	85,80(0,006) ^{a,C}	86,08(0,011) ^{a,C}	85,60(0,005) ^{a,D}
SR Adoro D4	92,93(0,005) ^{a,D}	93,05(0,004) ^{a,B}	92,95(0,007) ^{a,D}	92,87(0,006) ^{a,E}

Letra maiúscula diferente na coluna indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Letra minúscula diferente na linha indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Tabela 09 – Valores médios da Opacidade Final (OF), desvio padrão e análise estatística dos Compósitos Escuros.

Compósitos Escuros	Ambiente		Geladeira	
	T30	T90	T30	T90
Heliomolar C3	99,25(0,002) ^{a,A}	99,10(0,002) ^{a,A}	99,18(0,001) ^{a,A}	99,25(0,002) ^{a,A}
Tetric EvoCeram C3	93,88(0,008) ^{a,B}	94,88(0,006) ^{a,B}	94,10(0,014) ^{a,B}	94,88(0,004) ^{a,B}
4 Seasons C3	92,63(0,007) ^{a,CD}	93,62(0,023) ^{a,C}	93,17(0,006) ^{a,B}	92,75(0,005) ^{a,C}
QuiXfil U	91,47(0,015) ^{a,C}	90,15(0,005) ^{a,D}	90,55(0,014) ^{a,C}	90,15(0,005) ^{a,D}
SR Adoro D4	93,55(0,006) ^{a,BD}	93,48(0,005) ^{a,C}	93,07(0,011) ^{a,B}	93,58(0,007) ^{a,C}

Letra maiúscula diferente na coluna indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Letra minúscula diferente na linha indica resultados estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

Nas Tabelas 08 e 09, observamos que o ambiente e o tempo de armazenagem não influenciaram de maneira significativa ($p > 0,05$) os valores para Opacidade Inicial e Opacidade Final obtidos para o mesmo compósito entre os Compósitos Escuros.

Quando comparados os valores de OI entre os compósitos em um mesmo ambiente e tempo de armazenagem, a ordem decrescente de opacidade se manteve, à semelhança dos Compósitos Claros, sendo que os comportamentos das resinas Tetric EvoCeram foi muito semelhante à 4 Seasons, com valores estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$) para todos os

ambientes e tempos estudados, com exceção da variável G/T90. Porém, após o envelhecimento (OF), a ordem decrescente de opacidade se alterou para: Heliomolar, Tetric EvoCeram, SR Adoro, 4 Seasons e QuiXfil. Para a armazenagem em Ambiente no período T30, houve semelhança entre Tetric EvoCeram e Sr Adoro e QuiXfil e 4 Seasons. Para os demais ambientes e tempos de armazenagem, a semelhança permaneceu somente entre 4 Seasons e SR Adoro.

5.2.2. Análise da Variação da Opacidade (ΔOP)

Na Tabela 10 encontramos os valores da Opacidade Inicial (OI), da Opacidade Final (OF) e a variação da opacidade ($\Delta OP = OF - OI$); dos compósitos pesquisados, em todos os ambientes e tempos de armazenagem.

Tabela 10 – Valores médios da Opacidade Inicial, Opacidade Final, e a diferença entre estes, dos compósitos estudados, nos diferentes ambientes e tempos de armazenagem.

Compósito	Cor	Ambiente					Geladeira				
		T30		T90			T30		T90		
		OI	OF	Δ OP	OI	OF	OI	OF	OI	OF	Δ OP
Heliomolar	A2	96,82	97,70	0,88	96,97	97,53	0,56	97,12	97,64	0,52	0,82
	C3	98,93	99,25	0,32	98,72	99,10	0,38	99,08	99,18	0,10	0,38
Tetric EvoCeram	A2	91,32	93,77	2,45	90,73	93,92	3,19	91,83	94,07	2,24	2,29
	C3	91,28	93,88	2,60	92,03	94,88	2,85	92,53	94,10	1,57	2,66
4 Seasons	A2	90,65	92,40	1,75	89,23	90,87	1,64	89,73	91,77	2,04	2,73
	C3	90,73	92,63	1,90	91,98	93,62	1,64	91,40	93,17	1,77	2,08
QuiXfil	U	86,35	91,47	5,12	85,80	90,15	4,35	86,08	90,55	4,47	4,55
	A2	95,15	95,78	0,63	95,85	96,12	0,27	95,45	96,40	0,95	0,35
SR Adoro	D4	92,93	93,55	0,62	93,05	93,48	0,43	92,95	93,07	0,12	0,71

OI – Opacidade Inicial; OF – Opacidade Final; Δ OP – variação da opacidade (OF – OI)

Pela análise dos resultados podemos observar que quanto maior for o valor de ΔOP , mais opaco torna-se o compósito após o procedimento de envelhecimento artificial, ou seja, com o envelhecimento, estes compósitos tornaram-se mais opacos, dificultando a transmissão da luz dentro do compósito, quando comparados aos valores iniciais.

O compósito Heliomolar para as matizes A2 e C3, apresentou pequena diferença entre os valores para Opacidade Inicial (OI) e Opacidade Final (OF), em todos os ambientes e tempos de armazenagem. A resina indireta SR Adoro, em todas as cores estudadas, também apresentou baixos valores para a opacidade, ou seja, encontrou-se pequena variação entre os valores de OF e OI (ΔOP).

Já o compósito Tetric EvoCeram, apresentou valores relativamente altos para ΔOP , quando comparados aos demais compósitos. Os menores valores encontrados desta variação foram em Geladeira T30 em ambas as matizes e os maiores em Ambiente T90. O compósito 4 Seasons também apresentou valores relativamente altos para ΔOP . As matizes A2 e C3 da resina 4 Seasons, apresentaram os menores valores para ΔOP em Ambiente T90 e os maiores valores para Geladeira T90.

A resina universal QuiXfil apresentou, para todos os ambientes e tempos estudados, os maiores valores para a variação entre OF e OI. O menor valor encontrado para ΔOP foi em QX/U/A/T90 (4,35) e o maior em QX/U/A/T30 (5,12). Ou seja, o compósito QuiXfil tornou-se mais opaco após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado que qualquer outro compósito estudado. As resinas compostas de uso direto de tonalidade clara apresentaram valores de Opacidade Inicial (OI) e Final (OF) freqüentemente menor que os mesmos

compósitos de tonalidades escuras. Contudo, para o compósito de uso indireto, a tonalidade clara (A2) apresentou valores para OI e OF maiores ao de tonalidade escura (D4), em todos os ambientes e tempos estudados.

5.3. Densidade das ligações cruzadas

Os valores de dureza Knoop (KNH - Knoop Hardness Number) antes (KNH1) e após a imersão, por 24 horas, dos corpos-de-prova em solução de etanol 75% (KNH2); e a diferença entre esses valores (Δ KNH), para todos os compósitos e em todos os ambientes e tempos estudados, encontram-se nos Apêndices XIX, XX, XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV, XXVI e XXVII.

Na Tabela 11, vemos os valores da densidade de ligações cruzadas (Δ KNH) antes e depois do procedimento de envelhecimento artificial acelerado dos todos os compósitos e em todos os ambientes e tempos estudados.

Tabela 11 – Valores de ΔKNH dos compósitos estudados, nos diferentes ambientes e tempos de armazenagem, antes e após o procedimento de envelhecimento artificial.

Compósito	Cor	Envelhecimento	Ambiente	Ambiente	Geladeira	Geladeira
			T30	T90	T30	T90
Heliomolar	A2	Antes	54,3	26,4	20,3	27,1
		Após	4,1	5,2	9,8	20,7
	C3	Antes	24,2	18,8	21,7	29,12
		Após	21,8	16,4	-0,5	19,2
Tetric EvoCeram	A2	Antes	30	24,3	26,3	20,3
		Após	19,4	6,2	8,9	14,3
	C3	Antes	22,5	28,8	27,7	24,5
		Após	5,2	9,7	17,7	9,8
4 Seasons	A2	Antes	25,5	26	26,1	25,8
		Após	8,3	14,7	2,1	13,4
	C3	Antes	33,4	27,5	28	23
		Após	12,6	2,5	0	13,6
Quixfil	U	Antes	15	51,6	41,9	35
		Após	0,9	-0,4	1,1	-29
SR Adoro	A2	Antes	16,2	14,7	14,1	16,9
		Após	9,4	7,1	20,3	17,4
	D4	Antes	7,6	17,1	7,8	33,4
		Após	13,6	17,3	6,9	12,6

Para avaliação da densidade das ligações cruzadas observamos o ΔKNH antes e o ΔKNH após o procedimento de envelhecimento artificial para o mesmo compósito e no mesmo ambiente e tempo de armazenagem. Sabendo que os valores de ΔKNH e a densidade das ligações cruzadas são inversamente proporcionais, ou seja, um alto valor de ΔKNH significa uma

baixa densidade das ligações cruzadas. Quanto maior a diferença numérica entre os valores de ΔKNH “antes” e ΔKNH “depois” do envelhecimento artificial, para o mesmo compósito e o mesmo ambiente e tempo de armazenagem, maior foi a ação deste processo na densidade das ligações cruzadas.

Os valores de ΔKNH “antes” do envelhecimento são sempre maiores numericamente que os valores de ΔKNH “depois” do envelhecimento para as resinas diretas, quando comparada a mesma resina e no mesmo ambiente e tempo de armazenagem. Ou seja, existe uma menor densidade de ligações cruzadas nas amostras não envelhecidas, comparativamente as amostras que sofreram o processo de envelhecimento artificial.

Para o compósito indireto (SR Adoro), nas 2 tonalidades estudadas, encontramos valores para ΔKNH “antes” nem sempre maiores do que ΔKNH “depois”. Os compósitos claros armazenados em Geladeira e os compósitos escuros, armazenados à Temperatura Ambiente demonstraram valores de ΔKNH “depois” maiores que “antes”.

6. DISCUSSÃO

6. DISCUSSÃO

Com o desenvolvimento da tecnologia para obtenção de novos compósitos, nos últimos anos, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para o estudo de propriedades mecânicas dos materiais restauradores (SARAFIANOU, IOSIFIDOU, PAPADOPOULOS, ELIADES, 2007) e sua interação com os sistemas adesivos (REIS, PELLIZZARO, DAL-BIANCO, GONES, PATZLAFF, LOGUERCIO, 2007). A maioria desses trabalhos indica que, mecanicamente, esses materiais são efetivos aos objetivos a que se propõem. Porém, poucos estudos abordam as características estéticas desses materiais ao longo do tempo.

Atualmente, com a valorização da estética, da necessidade de restaurações imperceptíveis, a importância da estabilidade de cor nos compósitos odontológicos tem crescido e um dos métodos mais utilizados para verificação dessa propriedade simulando uso clínico do material é a avaliação após procedimento de envelhecimento artificial (SARAFIANOU, IOSIFIDOU, PAPADOPOULOS, ELIADES, 2007).

O primeiro relato de análise de estabilidade de cor após submissão a envelhecimento artificial foi feito em 1978 (POWERS et al., 1978). O processo de envelhecimento acelerado simula o efeito a longa exposição em condições ambientais, num processo que envolve exposição à luz ultravioleta e alterações na temperatura e umidade. Um dos fatores mais importantes na estabilidade da cor são as mudanças intrínsecas ocorridas na matriz resinosa causadas por

radiação UV e aplicação da energia térmica, fator este que não pode ser eliminado com o polimento. A radiação UV causa a quebra das ligações químicas (KOLBECK et al., 2006). O processo de envelhecimento artificial, utilizado no presente estudo, submete as amostras tanto a radiação UV como o uso de energia térmica, provocando alterações intrínsecas na matriz, e conseqüentemente alteração na cor das amostras.

Tal teste foi utilizado no presente estudo em um total de 384 horas de ação de envelhecimento artificial, no qual corresponde a 10 anos de envelhecimento natural (ASTM, 2006). Alguns estudos, que avaliam a estabilidade de cor de resinas indiretas, utilizaram 1440 horas de ação de envelhecimento artificial, porém, grande parte desta alteração de cor ocorre nas primeiras 300 horas do processo de envelhecimento (RUYTER, NILNER, MÖLLER, 1987). Além do mais, segundo Ferracane *et al.* (1998) e Ferracane & Condon (1991) a sorção da água pelo compósito ocorre somente até haver saturação entre as cadeias poliméricas e estabilização da estrutura. A partir deste momento, não é mais observada redução das propriedades físico-mecânica do compósito e não ocorre mais a degradação da interface partícula/matriz e da própria matriz polimérica.

Em relação às propriedades ópticas do espectrofotômetro utilizado (Espectrofotômetro PCB 6807 BYK GARDNER), este está equipado com uma esfera integrante. Esta configuração permite boa confiabilidade dos resultados (MOLENAAR et al., 1999), com melhores resultados quando avaliados visualmente (HORN et al., 1998; POWERS et al., 1988) ou outras configurações instrumentais (HUNTER, 1987).

A confiabilidade do espectrofotômetro é dada por numerosos parâmetros instrumentais. Existem diversos e significantes fatores envolvidos para resultar em uma boa confiabilidade dos espectrofotômetros, dentre estes estão: a repetibilidade e a precisão do comprimento de onda, a repetibilidade fotométrica, a largura da fenda, linearidade e resolução espectral e o intervalo dinâmico linear (DRISCOLL, 1965). Ainda mais, estes aparelhos são passíveis de erros aleatórios, que são dificilmente detectados. Estes erros tendem a afetar a repetibilidade do instrumento, e estão associados ao ruído de fundo, flutuação da rede elétrica, polarização e preparação da amostra (SEGHI, JOHNSTON, O'BRIEN, 1989).

6.1. Alteração de cor

Os fabricantes de materiais restauradores estéticos buscam proporcionar aos compósitos odontológicos uma maior estabilidade química, resultando em estabilidade das propriedades físicas, mecânicas e ópticas. Esta última característica possibilitará melhores resultados estéticos aos compósitos odontológicos, como por exemplo: estabilidade de cor, translucidez adequada, opalescência e fluorescência.

Para avaliação da estabilidade de cor no universo de cor CIE $L^*a^*b^*$, avaliamos os valores obtidos para alteração de cor (ΔE), onde podemos distinguir três intervalos (INOKOSHI et al., 1996; KIM & HUM, 1996):

- a) $\Delta E < 1$ – alteração de cor não detectada pelo olho humano;

- b) $1 < \Delta E < 3,3$ – alteração de cor considerada clinicamente aceitável;
- c) $\Delta E > 3,3$ – alteração de cor considerada clinicamente inaceitável; sendo indicada a substituição do material restaurador por motivos estéticos.

Em relação aos valores de aceitação clínica para alteração de cor (ΔE) de um compósito odontológico, há uma controvérsia na literatura odontológica. Alguns autores recomendam a substituição do material restaurador por motivos estéticos em valores de ΔE acima de 3,3 (INOKOSHI et al., 1996; KIM & HUM, 1996). Para outros, (CRAIG & POWERS, 2002; RUYTER, NILNER, MOLLER, 1987) este valor de $\Delta E = 3,3$ só é considerado clinicamente inaceitável por 50% dos observadores, sendo os valores de $\Delta E > 3,8$ considerados inaceitáveis para todos os observadores (LEE, LIM, RHEE, YANG, POWERS, 2005). Outros autores ainda consideram valores para ΔE entre 3,3 e 3,7 clinicamente aceitáveis (GOVEIA, 2004).

No presente trabalho, o limiar de aceitação clínica dos materiais restauradores estéticos adotado foi $\Delta E < 3,3$; valor este adotado por diversos trabalhos pela atual literatura odontológica (LEE, LU, OGURI, POWERS, 2007). Dessa forma, todos os valores para ΔE das resinas QuiXfil Universal, Tetric EvoCeram C3 e SR Adoro A2 foram maiores que 3,3, em todos os tempos e ambientes estudados, indicando pequena estabilidade de cor quando comparados as demais compósitos, sendo indicada, segundo o limite determinado, a substituição da resina por motivos estéticos. Os compósitos Heliomolar A2, 4 Seasons C3 e SR Adoro D4 apresentaram pequena alteração de cor, de maneira que todos os valores encontrados para ΔE foram menores

que 3,3. Para os demais compósitos, os valores para ΔE foram maiores ou menores que 3,3; dependendo do tempo e ambiente de armazenagem.

As resinas compostas híbridas apresentam menor alteração de cor quando comparada às resinas microhíbridas e de micropartículas, sendo que esta última resina apresentou maior alteração de cor dentre os compósitos citados anteriormente (VICHI, FERRARI, DAVIDSON, 2004; SCHULZE et al., 2003). No presente trabalho, a resina composta híbrida 4 Seasons (tonalidade C3 quando armazenada em Geladeira por 30 dias) foi a que apresentou menor alteração de cor entre todos os compostos, ambientes e tempos estudados.

Diferenças na estrutura química das resinas compostas, como o tipo de oligômeros ou monômeros utilizados, concentração/tipo de ativadores, iniciadores, inibidores, oxidação das ligações dupla carbono, tamanho/tipo das partículas e o sistema de união partículas matriz resinosa podem interferir na estabilidade de cor (IKEDA, NAKANISHI, YAMAMOTO, SANO, 2003). Segundo alguns autores (SCHULZE, MARSHALL, GANSKY, MARSHALL, 2003; INOKOSHI et al., 1996), compósitos odontológicos com baixa concentração de partículas de carga apresentariam maiores resultados em relação à alteração de cor (maior ΔE). Entretanto, os resultados apresentados no presente estudo contradizem essa informação, uma vez que houve maior alteração de cor quanto maior o percentual de carga em peso nos compósitos, resultados que corroboram os estudos de Vichi, Ferrari e Davidson (2004) e Dietschi et al., (1994).

A literatura odontológica descreve que os compósitos permitem que os solventes penetrem na matriz resinosa ou na interface matriz/partículas

(OYSAED & RUYTER, 1986; BRADEN & CLARKE, 1984). Segundo Ferracane *et al.* (1998), quanto maior o volume de partículas na composição do compósito, menor é o grau de conversão apresentado. Conseqüentemente, o compósito formado terá maior quantidade de ligações duplas remanescentes e menor quantidade de ligações formadas. Desta forma, este compósito estará mais predisposto à ação do solvente (água), pois existirá um maior volume livre para ação da água, que penetrará na matriz resinosa, causando o “inchaço” ou relaxamento destas ligações, num efeito conhecido com plasticização. O solvente no interior da matriz resinosa pode causar a deterioração da mesma, e da interface partícula/matriz. A plasticização dará uma maior alteração de cor no compósito, pela presença de água no interior da matriz resinosa, após o uso de procedimento de envelhecimento artificial.

Entre as resinas diretas estudadas, a resina QuiXfil Universal apresenta o maior percentual de carga inorgânica (86% em peso) e por isso está mais sujeita à menor taxa de conversão de monômero, o que acarretou em maior alteração de cor, seguida da resina Tetric EvoCeram (82-83% de carga inorgânica em peso), em todos os ambientes e tempos pesquisados. Os compósitos Heliomolar e 4 Seasons, apesar de terem percentual de carga inorgânica diferentes (66,7% e 75-77% em peso, respectivamente), apresentaram padrão semelhante para alteração de cor. Isto corrobora o estudo de Ferracane *et al.* (1998). Além disso, Inokoshi e colaboradores (1996), afirmaram haver uma significativa diferença entre o índice de refração da luz nas partículas inorgânicas quando comparados ao índice de refração da matriz resinosa de compósitos odontológicos. A diferença entre estes índices ocorre devido às múltiplas reflexões e refrações na interface matriz/partículas.

A resina SR Adoro apresenta em sua composição percentual de carga muito próxima à resina Heliomolar (66% em peso). Apesar disto, a resina clara (A2) apresentou alteração de cor maior para a resina indireta do que para a resina direta. Em contrapartida, a resina escura (C3 – direta/D4 – indireta) apresentou melhores resultados para SR Adoro. Isso pode ser explicado considerando-se outros fatores que não somente a distribuição de partículas na matriz, como por exemplo, a composição da matriz, o sistema de polimerização, dentre outros.

Com relação à composição da matriz resinosa, todos os compósitos odontológicos utilizados no presente estudo apresentam o Bis-GMA e o UDMA em sua composição. As resinas QuiXfil, 4 Seasons e SR Adoro apresentam também, em sua composição o TEGDMA. Em estudo de Choi e colaboradores (2006), os autores mostraram que a maior alteração de cor após o envelhecimento artificial, foi encontrada para o compósito formado pelos monômeros Bis-GMA, UDMA e TEGDMA. Isto estaria relacionado ao fato de que o monômero TEGDMA está mais predisposto à sorção de água que o UDMA, aumentando a solubilidade do polímero formado (BAGHERI, BURROW, TYAS, 2005; MUNKSGAARD & FREUND, 1990; BRADEN, 1984). Uma maior solubilidade em água dos compósitos proporciona a estes uma menor estabilidade de cor, devido aumento do volume livre do polímero formado, e conseqüentemente, há um maior espaço para as moléculas de água se difundir dentro da estrutura polimérica. Dessa forma, podemos relacionar a maior alteração de cor do compósito QuiXfil ao fato de apresentar TEGDMA.

A presença de UDMA poderia resultar em maior e mais rápida conversão do monômero e, conseqüentemente, maior estabilidade (KIM, LEE,

POWERS, 2006, ASMUSSEN & PEUTZFELDT, 1998; KHOKHAR, RAZZOOG, YAMAN, 1991). Eis uma das razões da menor alteração de cor dos demais compósitos estudados.

A resina SR Adoro apresentou alteração relativamente alta em comparação aos demais compósitos estudados. Sugere-se que esse comportamento está ligado fortemente à sua composição, principalmente em relação aos componentes da matriz. Esta resina indireta apresenta como monômeros o Bis-GMA e o TEGDMA, além do UDMA e DM-DMA (Decametildimetacrilato). Além de apresentar a combinação Bis-GMA e TEGDMA, que segundo Choi *et al.* (2006) possibilitaria menor estabilidade de cor, esses monômeros são encontrados em alta concentração, muito maior do que para os demais compósitos estudados (20-42% e 6-10% respectivamente). Isso indicaria uma maior tendência à alteração de cor.

O tamanho das partículas inorgânicas está correlacionado com a alteração de cor, no qual, compósitos com grande dimensão destas partículas são mais susceptíveis à sorção de água e à alteração de cor. Segundo Kawaguchi, Fukushima, Miyazaki, (1994) resinas compostas híbridas apresentam menor coeficiente de transmissão da luz devido aos diversos tamanhos de suas partículas.

Com relação ao estudo ora apresentado, as maiores partículas ocorrem para as resinas QuiXfil e SR Adoro (10 μm em média) o que pode explicar o comportamento de maior alteração de cor. A resina Heliomolar apresenta o menor tamanho de partículas entre os compósitos estudados (0,04 a 0,2 μm),

sendo que esta resina na tonalidade A2 apresentou uns dos mais baixos valores para alteração de cor.

Há uma relação entre o coeficiente de espalhamento e a concentração da luz (CAMPBELL et al., 1986). A percepção da cor está diretamente relacionada com o espalhamento da luz. A interface matriz/partícula é conhecida como uma área sensível a sorção de água. Quando há uma degradação hidrofílica, esta interface pode ser alterada, e conseqüentemente, modificar o espalhamento da luz (VICHI, FERRARI, DAVIDSON, 2004). A composição destas partículas (inorgânicas, vítreas, sílica pirogênica) também pode influenciar o resultado da alteração de cor (BUCHALLA, et al., 2002).

Vários trabalhos (HOSOYA, 1999; ELDIWANY, FRIEDL, POWERS, 1995; SEGHI, 1990) estudaram a alteração de cor de diferentes tonalidades de resinas compostas e encontraram que cores claras tendem mostrar maiores alterações de cor que as resinas de tonalidades escuras. Isto se deve às diferentes composições químicas dos compósitos de tonalidades claras e escuras, como por exemplo, o ativador, iniciador, inibidor, os pigmentos adicionados, que podem resultar em diferentes níveis espalhamento e absorção da luz (LEE, LIM, KIM, POWERS, 2001).

No presente estudo, os compósitos 4 Seasons e SR Adoro nas tonalidades claras apresentaram maior alteração de cor que nas tonalidades escuras, corroborando assim com o estudo de Lee *et al.*, 2001. A menor alteração de cor observada pelos compósitos escuros pode ser explicada pelo fato de que os compósitos odontológicos após o procedimento de envelhecimento artificial adquirem uma tonalidade mais escura, e os

compósitos de tonalidade escura são menos sensíveis a esta alteração de cor, pois estes compósitos inicialmente já possuem uma tonalidade escura. Os valores para alteração de cor (ΔE) são maiores, pois estes compósitos possuem tonalidade clara previamente ao uso da máquina de envelhecimento artificial, sendo notado mais facilmente o escurecimento provocado pelo envelhecimento artificial, tanto visualmente como na mensuração do ΔE .

Com os compósitos Heliomolar e Tetric EvoCeram de cor clara (A2) isso não ocorreu, ou seja, estas apresentaram menor alteração de cor que a cor escura (C3). Acredita-se que isso ocorreu porque tais compósitos de tonalidade escura contêm uma maior quantidade de pigmentos para acertar a cor em que devem ser comercializadas. A presença destes pigmentos escuros na composição da matriz resinosa atua como um obstáculo, dificultando a passagem da luz polimerizadora pela resina. Deste modo, ocorre um menor grau de conversão dos monômeros. Então a matriz resinosa formada é mais susceptível à ação do solvente (água) e à degradação provocada por este último. Por este motivo, alguns fabricantes de materiais estéticos odontológicos recomendam um maior tempo de fotopolimerização diante de um compósito de tonalidade escura.

6.2. Opacidade

A cor e translucidez nos materiais restauradores estéticos são determinadas não somente por fenômenos macroscópicos, como a matriz resinosa e as partículas (tamanho e composição), mas também sofre influência dos pigmentos e de outros componentes químicos adicionados nestes materiais (JOHNSTON & REISBICK, 1997).

Os valores de aceitabilidade clínica da alteração de cor dos compósitos odontológicos têm sido bastante estudados (INOKOSHI et al., 1996; KIM & UM, 1996; UM & RUYTER, 1991). Porém na literatura odontológica, não são encontrados níveis de aceitabilidade clínica da variação da opacidade.

O esmalte humano é inerente à translucidez e materiais restauradores estéticos podem reproduzir essa propriedade dos dentes naturais. A determinação da opacidade de um compósito odontológico estético (contrário de translucidez) pode ser realizada a partir da leitura de cor da amostras, com auxílio do espectrofotômetro, sobre um fundo padrão preto e sobre um fundo padrão branco em que somente os valores da Luminosidade (L^*) são utilizados (VICHI, FERRARI, DAVIDSON, 2004), metodologia utilizada neste trabalho. Entretanto, outra metodologia também pode ser usada, que leva em consideração os parâmetros de translucidez (CHOI, LEE, LIM, RHEE, YANG, LIM, 2006) em que são utilizados valores de L^* , a^* e b^* , de forma que altos valores de translucidez significam baixa opacidade.

Segundo Johnston & Reisbick (1997), variações relativamente altas da translucidez após o procedimento de envelhecimento artificial são encontradas na maioria dos compósitos odontológicos. Isso pode ser explicado, pois o espalhamento da luz incidente na amostra é influenciado pelo tamanho das partículas do compósito odontológico (KAWAGUCHI, et al., 1994). O maior tamanho das partículas de carga dificulta a dispersão da luz pelo compósito odontológico, resultando em maior opacidade (KIM et al., 2007). A resina universal QuiXfil, é a resina direta que apresenta as maiores partículas inorgânicas, podendo chegar até 10 μm . Dessa maneira, esta resina apresentou os maiores valores de variação da opacidade (ΔOP) após o procedimento de envelhecimento. O maior valor para ΔOP encontrado foi para a resina QuiXfil (armazenada em temperatura Ambiente por 30 dias), onde este valor foi 1.600% maior que a ΔOP encontrada para a resina Heliomolar C3, no mesmo ambiente e tempo de armazenagem.

Resinas compostas de micropartículas apresentam maior espalhamento da luz que resinas compostas híbridas (RUYTER & OYSAED, 1982), ou seja, menos luz passa através do material devido à maior reflexão. No presente trabalho a resina de micropartículas Heliomolar apresentou maiores valores para Opacidade Inicial (OI) e Opacidade Final (OF), que a resina microhíbrida Tetric EvoCeram e que a resina híbrida de partículas finas 4 Seasons.

A opacidade (OI e OF) observada nos compósitos de uso direto nas tonalidades claras foi freqüentemente menor que os valores observados para os de tonalidades escuras. Entretanto, os valores da opacidade (OI e OF) do compósito na tonalidade clara foram maiores que na tonalidade escura, em todos os ambientes e tempos pesquisados. Essa diferença de comportamento

ocorreu, possivelmente, devido à maior necessidade de pigmentos adicionados nos compósitos diretos para as tonalidades escuras. Isso, determinaria uma maior opacidade inicial. Em relação ao compósito indireto, deve-se considerar sua indicação. Muitas vezes esse compósito é indicado para confecção de restaurações metaloplásticas, sobre estruturas metálicas. Dessa maneira, maior opacidade do material claro, principalmente, é necessária para auxiliar no mascaramento da estrutura metálica pelo compósito.

Importante lembrar que a textura ou rugosidade superficial assume importante papel no espalhamento ou reflexão quando a luz incide sobre o dente natural ou a restauração. Superfícies altamente polidas tornam a restauração mais translúcida (OBREGON, GOODKIND, SCHWABACHER, 1981). Para evitar a ação desta característica sobre os resultados, no presente estudo, as amostras foram polidas com a utilização do sistema de acabamento e polimento dental extrafino Sof-Lex, na sequência decrescente de abrasividade com movimentos intermitentes, intercalados com o umedecimento da superfície do corpo-de-prova.

Apesar de não ser objeto de estudo deste trabalho, deve-se evidenciar que, há uma correlação entre alteração de cor e opacidade e ambas estão relacionadas à tonalidade do material restaurador (CHOI, LEE, LIM, RHEE, YANG, LIM, 2006).

6.3. Densidade das ligações cruzadas

A polimerização dos monômeros metacrilatos dos compósitos odontológicos resulta na formação de uma estrutura com grande quantidade de ligações cruzadas. A conversão do monômero não ocorre por completo, restando quantidade considerável de ligação dupla carbono livre (FERRACANE et al., 1997).

As ligações duplas livres interferem na densidade das ligações cruzadas no compósito odontológico, através da reação de propagação do radical livre para formar a ligação polimérica, no ciclo primário ou secundário. Quando o radical reage com uma ligação dupla livre de sua própria cadeia cinética, ocorre o ciclo primário, ou seja, cadeias lineares se formam. Quando a ligação das cadeias se forma pela reação do radical livre com uma ligação dupla livre em uma cadeia cinética diferente, ocorre o ciclo secundário, ou seja, a ligação cruzada. A reação para formação do ciclo primário forma uma estrutura de microgel e conduz a heterogeneidade da cadeia polimérica onde há regiões de ligações cruzadas soltas e outras onde há ligações cruzadas mais agregadas. Isso promoverá mais locais disponíveis para ligações e não diminuirá a mobilidade do sistema tanto quanto as ligações cruzadas. Entretanto, as ligações lineares também podem permitir uma redução na densidade de ligações cruzadas efetivas, uma vez que esses ciclos primários não contribuem substancialmente para a estrutura reticular como um todo. Isso pode levar a

uma diminuição das propriedades mecânicas e da temperatura de transição vítrea do material (SOH, ADRIAN, YAP, 2004).

Diversos fatores podem influenciar a formação destas ligações cruzadas, como a espessura da amostra, o tamanho e tipo das partículas das resinas, o tempo de fotopolimerização e a distância da ponta do fotopolimerizador até a superfície da amostra (TATE, PORTER, DOSCH, 1999). Todos estes fatores foram padronizados no presente estudo. A amostra possuía uma espessura uniforme de 2 mm, a fotopolimerização ocorreu em duas etapas, com um tempo padronizado para cada incremento e a ponta do fotopolimerizador ficava sempre à mesma distância da amostra.

O grau de ligações cruzadas pode ser medido segundo a temperatura de transição vítrea (SHEN & EISENBERG, 1967) e pela imersão da amostra em etanol, utilizado neste trabalho. Para isso, então, foram feitas leituras da dureza Knoop previamente e posteriormente a inserção dos corpos-de-prova em solução de etanol 75%. Nesta solução, o monômero é amolecido, havendo um maior amolecimento dos polímeros lineares em comparação às ligações cruzadas (KAO, 1989).

A maior susceptibilidade ao amolecimento dos polímeros lineares em comparação aos polímeros com ligações cruzadas pode ser explicada pela interação do solvente/polímero. Os solventes podem formar fortes ligações secundárias com a cadeia polimérica, podendo penetrar e substituir as ligações secundárias inter-cadeias, e assim, dissolvendo polímeros lineares. Entretanto esta ligação secundária polímero/solvente não é capaz de agir sobre a valência primária das ligações cruzadas. Desta maneira, os polímeros com alta

densidade das ligações cruzadas são menos solúveis à ação do solvente, embora estes polímeros possam aumentar sua dimensão (expansão) dependendo do grau de densidade das ligações cruzadas. Um baixo grau de ligações cruzadas pode resultar em uma maior expansão volumétrica e aumento da solubilidade da estrutura. Quando posto em uma solução de etanol, as ligações cruzadas do polímero tendem a prevenir a solvatação da estrutura, estabelecendo adequada interação com o polímero, impedindo que as moléculas do solvente (etanol) possam carregar as moléculas do polímero para a solução de etanol (SOH & YAP, 2004).

O método de avaliação da densidade das ligações cruzadas utilizada por este estudo é considerado um método indireto. O grau de degradação é aproveitado como indicativo da densidade das ligações cruzadas (ASMUSSEN & PEUTZFELDT, 2001b), onde uma alta densidade de ligação cruzadas indica que o compósito é mais resistente a degradação frente à ação de um solvente, pois reduz a absorção do solvente e provoca uma menor expansão do polímero devido à redução do volume livre da estrutura polimérica, ou seja, há um espaço limitado para as moléculas do solvente se difundir dentro da estrutura polimérica. A expansão das ligações cruzadas da estrutura polimérica, quando imersos em solventes, ocorre devido às forças de atração entre as cadeias poliméricas que são excedidas pelas forças de atração entre as moléculas do solvente e os componentes da cadeia. Deste modo, o solvente penetra na matriz resinosa e expande as cadeias poliméricas (FERRACANE, 2006).

A composição química e a constituição do meio ou solvente no qual o polímero vai ser imerso, é importante para avaliação da influência do solvente sobre o polímero. Estudos que avaliam o efeito da condição de

armazenamento na estabilidade da estrutura polimérica de compósitos odontológicos expõem estes materiais à ação da água, saliva artificial, álcool, solventes ácidos ou básicos para estudos de processo de envelhecimento. O efeito destes solventes é variado, mas normalmente elucidam os componentes não envolvidos na reação e os efeitos da degradação sobre a estrutura polimérica (FERRACANE, 2006). Soluções entre 50 a 75% de álcool etílico/água têm demonstrado ser uns dos melhores solventes para a estrutura polimérica dos compósitos odontológicos (WU & McKINNEY, 1982). Neste estudo, utilizou-se solução de etanol 75% para causar a ideal deterioração da matriz resinosa para a mensuração da densidade das ligações cruzadas pelo método indireto. Schneider *et al.* (2007), em seu estudo, utilizou 2 soluções de etanol: à 75% e absoluto, para avaliar o amolecimento da matriz resinosa frente ao solvente e observou que a solução de etanol absoluto obteve menores valores para dureza Knoop quando comparado à solução de etanol a 75%, que causou maior deterioração desta matriz resinosa.

Maiores valores de dureza geralmente indicam uma maior extensão e qualidade da polimerização (ASMUSSEN, 1982). Dureza é definida como resistência de um material à deformação plástica tipicamente medida sob uma carga de penetração ou indentação (ANUSAVICE, 2003). A dureza dos compósitos, após sua imersão em água, pode depender de vários fatores. Uns dos principais fatores que podem influenciar esta dureza é a proporção dos monômeros bi-funcionais Bis-GMA/TEDGMA (ASMUSSEN, 1984), que influencia o grau de formação das ligações cruzadas por causar mudança no grau de conversão (ASMUSSEN, 1982). O aumento da proporção do

monômero mono-funcional pode causar redução do grau de formação das ligações cruzadas (ASMUSSEN & PEUTZFELDT, 2001b).

A dureza Knoop, com força de indentação de 500 gramas, pode ser empregada para determinar, por um método indireto, o grau de conversão e densidade de ligações cruzadas de compósitos odontológicos (SOH & YAP, 2004; YAP, SOH, HAN, SIOW, 2004). Neste método, as amostras são submetidas inicialmente ao teste de dureza Knoop (KNH - Knoop Hardness Number), obtendo o KNH1. Após esta mensuração inicial, as amostras são armazenadas por 24 horas em solução de etanol 75% e, após esse tempo, realiza-se o teste de dureza final, obtendo o KNH2. O ΔKNH é obtido pela diferença entre KNH1 e KNH2 ($\Delta\text{KNH} = \text{KNH1} - \text{KNH2}$). No presente trabalho, obteve-se ΔKNH tanto de amostras não envelhecidas, como também de amostras que foram submetidas ao processo de envelhecimento artificial. A redução dos valores de dureza Knoop após a imersão em etanol (KNH2) é consequência da plastificação do polímero (FERRACANE, 2006).

Para as resinas compostas de uso direto, obteve-se ΔKNH positivos, ou seja, os valores de KNH1 foram maiores que os valores de KNH2, para a maioria destes compósitos, tanto das amostras envelhecidas como nas amostras não envelhecidas. Sendo os valores de KNH2 menores que o KNH1, observou-se que a solução de etanol 75% causou um amolecimento e consequente plastificação da matriz resinosa. A resina QuiXfil Universal comportou-se de forma anômala, pois apresentou tanto valores para ΔKNH positivos como negativos, dependendo do local e tempo de armazenamento do produto.

Para análise dos valores para ΔK_{NH} e sua relação com a densidade das ligações cruzadas, é importante salientar que estes são inversamente proporcionais. Portanto, um alto valor para ΔK_{NH} significa uma baixa densidade de ligações cruzadas. Da mesma forma, quando temos um baixo valor para ΔK_{NH} , temos uma alta densidade de ligações cruzadas no polímero formado.

Foram obtidos valores para ΔK_{NH} antes e após a realização do procedimento de envelhecimento artificial acelerado. Para os compósitos odontológicos de uso direto, observou-se que todos os valores para ΔK_{NH} para as amostras não envelhecidas foram maiores que os valores para ΔK_{NH} das amostras envelhecidas, independente da tonalidade utilizada e do ambiente e tempo de armazenamento destes compósitos. Desta forma, verificou-se uma maior densidade das ligações cruzadas nas amostras envelhecidas. Este fato sugere que o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, que ocorre à temperatura de 50°C durante 384 horas, auxiliou na pós-polimerização por calor destes compósitos, e conseqüentemente houve uma maior conversão do monômero e aumento da densidade das ligações cruzada. Este fato justifica os menores valores encontrados para ΔK_{NH} nas amostras envelhecidas e a maior densidade das ligações cruzadas destas amostras, quando comparados aos valores para ΔK_{NH} das amostras não envelhecidas dos compósitos diretos. Este fato corrobora com o estudo de Lee e Powers (2007), que afirmaram que a alta temperatura do processo de envelhecimento artificial acelerado provoca um aumento no grau de polimerização de resinas compostas.

As resinas compostas fotoativadas, quando submetidas pós-polimerização por calor, têm aumentado o grau de conversão dos monômeros,

e conseqüentemente, a densidade das ligações cruzadas (CALLISTER, 2000). Mas é importante salientar que estruturas poliméricas com semelhante grau de conversão, podem apresentar diferentes densidades das ligações cruzadas (PEUTZFELDT & ASMUSSEN, 2004).

A relação entre grau de conversão e temperatura é amplamente discutida na literatura odontológica (SOH & YAP, 2004; YAP, SOH, HAN, SLOW, 2004). A fim de obter melhores propriedades, recomenda-se que o compósito seja submetido à pós-polimerização por aplicação de calor com temperaturas entre 90 e 120°C (WENDT, 1987a, 1987b). Entretanto, no presente estudo, a temperatura aplicada foi de 50°C, inferior às temperaturas recomendadas. Porém, o período no qual as resinas permaneceram sob essa temperatura, foi de 384 horas, tempo bem superior aos 7 a 15 minutos utilizados por estudos que avaliam os efeitos da pós-polimerização (BAGIS & RUEGGERBERG, 2000; TANOUE, MATSUMURA, ATSUTA, 2000); e aos 11 minutos recomendados pelo fabricante para a polimerização por luz e calor do compósito SR Adoro utilizado em nossa pesquisa.

Segundo BAGIS & RUEGGERBERG (2000), a realização de uma pós-polimerização à temperatura de 50°C em compósitos fotopolimerizados, já é suficiente para que ocorra uma diminuição de 80% do TEGDMA residual, 75% do Bis-GMA residual e 77% do EBis-GMA residual, não ocorrendo diferenças estatisticamente significantes em relação aos níveis de monômero residual obtidos à temperaturas igual ou superior a 75°C.

Para o compósito odontológico de uso indireto (SR Adoro), nas duas tonalidades estudadas (A2 e D4), os valores para ΔK_{NH} das amostras não

envelhecidas foram algumas vezes maiores e outras vezes menores que os valores para ΔK_{NH} das amostras envelhecidas, não havendo um padrão de comportamento, independente da cor utilizada, do ambiente e tempo de armazenagem. Houve uma maior proximidade dos valores para ΔK_{NH} das amostras envelhecidas e não envelhecidas quando comparados com os valores para ΔK_{NH} das resinas de uso direto. Este comportamento sugere que o sistema de polimerização por luz e calor recomendado pelo fabricante, utilizado nesta resina de uso indireto, proporcionou um maior grau de conversão dos monômeros e uma maior formação de ligações cruzadas. Desta forma, a conversão máxima do monômero do compósito SR Adoro foi dada pelo próprio sistema de polimerização. Assim, o processo de envelhecimento artificial acelerado não atuou como um sistema de pós-polimerização, à semelhança do que ocorreu nas resinas diretas.

Antes do envelhecimento, analisando-se o comportamento das amostras de resinas diretas e indireta antes do envelhecimento, verificou-se que a última apresentou maior densidade de ligações cruzadas que as primeiras, ou seja, a resina indireta apresentou menores valores para ΔK_{NH} que as resinas diretas, dado o maior grau de conversão obtido em função do processo de pós-polimerização (luz e calor).

Na literatura odontológica existem diversos trabalhos sobre grau de conversão dos polímeros e a quantidade de duplas ligações remanescentes após sua polimerização. O mesmo não acontece com a densidade das ligações cruzadas, onde poucos estudos são encontrados sobre este assunto. Polímeros com alta taxa de grau de conversão, e que também, apresentam alta densidade de ligações cruzadas pode apresentar características vantajosas,

tanto no ponto de vista das propriedades mecânicas, como também menor susceptibilidade a ação de degradação da matriz resinosa ocasionada pelas substâncias alimentares e ataques enzimáticos (ASMUSSEM & PEUTZFELDT, 2001b).

Pelo exposto e pela análise de todos os resultados da pesquisa verifica-se que muito há ainda a ser estudado sobre as propriedades ópticas dos materiais restauradores estéticos em termos da utilização destes ao longo do tempo. Deve-se considerar que estes materiais devem ter longevidade apropriada para evitar que as restaurações sejam trocadas freqüentemente. Uma maneira de prever essa longevidade é o teste *in vitro* utilizando o envelhecimento artificial acelerado. Porém, essa metodologia observa a ação da água sobre a plasticização da estrutura do polímero. Entretanto, no ambiente bucal notamos a ação da enzima esterase e de outros solventes, que podem causar maior detrimento sobre a matriz resinosa, e conseqüentemente sobre as propriedades físico-mecânicas dos compósitos odontológicos (BEAN et al., 1994; FREUND & MUNKSGAARD, 1990). Sendo assim, sugerem-se novos estudos desta natureza, envolvendo outros critérios, para avaliação mais completa das características desses materiais.

7. CONCLUSÕES

7. CONCLUSÕES

Após a devida análise dos resultados, dentro dessas condições experimentais e metodológicas empregadas no presente trabalho, pode-se concluir que:

- i) O procedimento de envelhecimento artificial provocou alteração de cor em todos os compósitos estudados, seja ela discreta ou clinicamente inaceitável ($\Delta E \geq 3,3$);
- ii) Os compósitos QuiXfil Universal, Tetric EvoCeram C3 e SR Adoro A2, apresentaram valores para alteração de cor (ΔE) clinicamente inaceitável;
- iii) Os compósitos odontológicos claros e escuros de mesma marca comercial comportaram-se de maneira heterogênea, quando armazenados em mesmo ambiente e tempo;
- iv) Para a resina indireta, os compósitos claros apresentaram maior alteração de cor, em níveis clinicamente inaceitáveis, que os compósitos escuros, que apresentaram alterações de cor dentro dos níveis aceitáveis ($\Delta E < 3,3$);
- v) A opacidade do material está relacionada com o tamanho das partículas que o compõe de forma que, compósitos com partículas maiores (QuiXfil) apresentaram maior variação de opacidade que materiais com micropartículas;

vi) Para as resinas diretas, as tonalidades claras apresentaram menor opacidade que as tonalidades escuras. A resina indireta, ao contrário, apresentou maior opacidade para a tonalidade clara que a escura;

vii) A variação da opacidade é inerente às características do material, independente da tonalidade estudada (clara ou escura);

viii) Para as resinas diretas, o envelhecimento artificial acelerado produziu um aumento na densidade das ligações cruzadas dos polímeros estudados;

ix) Para o compósito de uso indireto, o envelhecimento interferiu na densidade das ligações cruzadas de maneira heterogênea;

x) Não houve um comportamento homogêneo dos materiais, em relação às propriedades estudadas, em função do tempo e ambiente de armazenagem sugerindo que a ação do envelhecimento é primordial e mais relevante para a alteração dos materiais ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

- AMEYE, C., LAMBRECHTS, P., VANHERLE, G. Convencional and microfilled composite resins. Color stability and marginal adaption. J Prosthet Dent, v.46, p.623-630, 1981.
- ANSETH, K. S., BOWMAN, C. N. Kinetic gelation model predictions of crosslinked polymer network microstructure. Chemical Engineering Science, v.49, p.2207-17, 1994.
- ANUSAVICE, K. J., ZHANG, N. J., MOORHEAD, J. E. Influence of P₂O₅, AgNO₃ and FeCl₃ on color and translucency of lithia-based glass-ceramics. Dent Mater, v.10, n.4, p.230-5, 1994.
- ANUSAVICE, K. J. Phillips. Materiais Dentários. Ed. Elsevier, 2003. 11^a ed.
- ASMUSSEN, E. Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. Scand J Dent Res, v.90, p.490-6, 1982.
- ASMUSSEN, E. Factors affecting the color stability of restorative resins. Acta Odontol Scand, v.1, p.12-18, 1983.
- ASMUSSEN E. Softening of BISGMA-based polymers by ethanol and by organic acids of plaque. Scand J Dent Res, v.92, p.257-261, 1984.
- ASMUSSEN, E. Clinical relevance of physical, chemical and bonding properties of composite resins. Oper Dent, v.10, p.61-73, 1985.
- ASMUSSEN, E., PEUTZFELDT, A. Influence of UEDMA, BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. Dent Mater, v.14, p.51-6, 1998.
- ASMUSSEN, E., PEUTZFELDT, A. Influence of pulse-delay curing on softening of polymer structures. J Dent Res, v.80, p.1570-3, 2001a.
- ASMUSSEN, E., PEUTZFELDT, A. Influence of selected components on crosslink density in polymer structures. Europ J Oral Scie, v.108, p.282-5, 2001b.
- ASTM STANDARDS G154-00A. Standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmettalic materials. Annual Book of ASTM Standards. Pennsylvania: United States, 2006. v.14, n.04, p.646-654.

- BAGIS, Y. H., RUEGGERBERG, F. A. Mass loss in urethane/TEGDMA and BIS-GMA/TEGDMA-based resin composites during post-cure heating. Dent Mater, n.13, p.377-380, Nov, 1997.
- BAGIS, Y. H., RUEGGERBERG, F. A. The effect of post-cure heating on residual, unreacted monomer in a commercial resin composite. Dent Mater, v.16, p.244–247, 2000.
- BAGHERI, R., BURROW, M.F., TYAS, M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. J Dent, v.33, p.389-398, 2005.
- BARATIERI, L. N. et al. Estética: restaurações adesivas diretas em dentes anteriores fraturados. São Paulo, Quintessence, 1995.
- BARATIERI, L. N. Procedimentos Preventivos e Restauradores. Cap.7, p.201-255, ed. Santos, 2002.
- BARSZCZEWSKA-RYBAREK, I., GIBAS, M., KURCOK, M. Polymer, v.41, 2000.
- BAHARAV, H., ABRAHAM, D., CARDASH, H. S., HELFT, M. Effect of exposure time on the depth of polymerization of a visible light-cured composite resin. J Oral Rehabil, v.15, p.167-171, 1988.
- BEAN, T. A., ZHUANG, W. C., TONG, P. Y., EICK, J. D., YOURTEE, D. M. Effect of esterase on methacrylates and methacrylate polymers in an enzyme simulator for biodurability and biocompatibility testing. J Biomed Mater Res, v.28, p.59-63, 1994.
- BILLMEYER, F. W. Jr., SALTZMAN, M. Principles of color technology. 2a ed. New York: John Wiley & Sons; 1981. cap.1-3, p.1-110.
- BOWEN, R. L. Dental filling material composising vinyl siliane treated fused silica and a binder consisting of a reaction product of bisphenol and glycidyl acrylate. U.S. n.3066, p.112, 1962.
- BOWEN, R. L., ARGENTAR, H. Diminishing discoloration in methacrylate accelerator systems. J Am Dent Assoc, v.75, p.918-923, 1967.
- BRADEN, M. Water absorption characteristic of dental microfine composite filling materials. II. Experimental materials. Biomaterials, v.5, p.373-5, 1984.

- BRADEN, M., CLARKE, R. L. Water absorption characteristic of dental microfine composite filling materials. I. Proprietary materials. Biomaterials, v.5, p.373-5, 1984.
- BUCHALLA, W., ATTIN, T., HILGERS, R., HELLWIG, E. The effect of water storage and light exposure on the color and translucency of a hybrid and a microfilled composite. J Prosthet Dent, v.87, p.264-270, 2002.
- BUSATO, A. L. S. Dentística – restaurações estéticas. Ed. Artes Médicas, 2002.
- CALLISTER, W. D. Jr. Estruturas Poliméricas. In: Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Ed. LTC, 5ª ed. Rio de Janeiro, 2000. Cap.15, p.208-326.
- CAMBELL, P. M., JOHNSTON, W. M., O'BRIEN, W. J. Light scattering and gloss of an experimental quartz-filled composite. J Dent Res, v.4, p.311-322, 1986.
- CHOI, M. S., LEE, Y. K., LIM, B. S., RHEE, S. H., YANG, H. C., LIM, Y. J. Changes in color and translucency of porcelain-repairing resin composites after thermocycling. J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater, v.78, p.1–6, 2006.
- CONDON, J. R., FERRACANE, J. L. In vitro wear of composite with varied cure, filler level, and filler treatment. J Dent Res, v.76, p.1405-1411, 1997.
- COOK, W. D., CHONG, M. P. Colour stability and visual perception of dimethacrylate based dental composite resins. Biomaterials, v.6, p.256-264, July. 1985.
- COSTA, R. Influências de substratos de diversas substâncias sobre coroas de resinas acrílicas em que variam marcas, consistência de preparo e espessuras. São Paulo, 1970 (Tese – Faculdade de São Paulo – USP).
- CRAIG, R. G., POWERS, J. M. Restorative Dental Materials, 11th ed. St. Louis, MO: C. V. Mosby; 2002. p 35, 36, 41.
- DANCY, W. M. K., YAMAN, P., DENNISON, J. B., O'BRIEN, W. L., RAZZOOG, M. E. Color measurements as quality criteria for clinical shade matching of porcelain crowns. J Esthet Restor Dent, v.15, n.2, p.114-22, 2003.
- DARONCH, M., RUEGGEBERG, F. A., DE GOES, M. F. Monomer conversion of pre-heated composite. J Dent Res, v.84, n.7, p.663-667, 2005.
- DAVIDSON, C. L., FEILZER, A. J. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restorations. J Dent, v.25, p.435-40, 1997.

- DIETSCHI, D., CAMPANILE, G., HOLZ, J., MEYER, J. M. Comparison of the color stability of ten new-generation composites: an in vitro study. Dent Mater, v.10, p.353-362, 1994.
- DORAY, P. G., WANG, X., POWERS, J. M., BURGESS, J. O. Accelerated aging affects color stability of provisional restorative materials. J Prosthodont, v.6, p.83-188, 1997.
- DOUGLAS, W. K., CRAIG, R. G. Resistance to extrinsic stains by hydrophobic composite resin system. J Dent Res, v.61, p.41-43, 1982.
- DOUGLAS, R. D. Color stability of new-generation indirect resins for prosthodontic application. J Prosthet Dent, v.83,p.166-70, 2000.
- DRISCOLL, W. G. Spectrophotometers. In: Kingslake R. Applied optics and optical Engineering. New York: Academic Press; 1965. cap.4, p 85-104.
- ELDIWANY, M., FRIEDL, K. H., POWERS, J. M. Color stability of lightcuredand post-cured composites. Am J Dent, v.8, p.179-181, 1995.
- ELLIOTT, J. E., LOVELL, L. G., BOWMAN, C. N. Primary cyclization in the polymerization of bis-GMA and TEGDMA: a modeling approach to understanding the cure of dental resins. Dent Mater, v.17, p.221-229, 2001.
- EKFELDT, A., OLIO, G. Occlusal contact wear of prosthodontic materials. An in vivo study. Acta Odontologica Scandinavica, v.46, p.159, 1988.
- FAHL, N. Jr., DENEHY, G. E., JACKSON, R. D. Protocol for predictable restoration of anterior teeth with composite resins. Pract Periodontics Aesthet Dent, v.7, n.8, p.13-21, 1995;
- FERRACANE, J. L., MOSER, J. B., GREENER, E. H. Ultraviolet light-induced yellowing of dental restorative resins. J Prosthet Dent, v.54, p.483-487, 1985.
- FERRACANE, J. L., GREENER, E. H. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. J Biomed Mater Res, v.20, p.121-131, 1986.
- FERRACANE, J. L., CONDON, J. R. Degradation of composites caused by accelerated aging. J Dent Res, n.70, p.480, 1991.
- FERRACANE, J. L., CONDON, J. R. Post-cure heat treatments for composite properties and fractography. Dent Mater, v.8, p.290-295, 1992.

- FERRACANE J.L., MARKER, V. A. Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. J Dent Res, v.71, n.1, p.13-9, Jan. 1992.
- FERRACANE, J. L., BERGE, H. X. Fracture toughness of experimental dental composites aged in ethanol. J Dent Res, v.74, p.1418–1423, 1995.
- FERRACANE, J. L., MITCHEM, J. C., CONDON, J. R., TODD, R. Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. J Dent Res, v.76, p.1508-16, 1997.
- FERRACANE, J. L., BERGE, H. X., CONDON, J. R. *In vitro* aging of dental composites in water—Effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. J Biomed Mater Res, v.42, p.465-472, 1998.
- FERRACANE, J. L. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. Dent Mater, v.22, p.211-222, 2006.
- FREUND, M., MUNKSGAARD, E, C. Enzymatic degradation of BisGMA/TEGDMA polymers causing decreased microhard-ness and greater wear *in vitro*. Scand J Dent Res, v.98, p.351-355, 1990.
- GOVEIA, J. C. Estudo colorimétrico da translucidez de materiais restauradores odontológicos. São Paulo, 2004 (Tese – Universidade de São Paulo/USP).
- GROH, C. L., O'BRIEN W. J., BOENKE, K. M. Differences in color between fired porcelain and shade guides. Int J Prosthodont, v.5, n.6, p.510-514, 1992.
- HOSOYA, Y. Five-year color changes of light-cured resin composites: Influence of light-curing times. Dent Mater, v.15, p.268-274, 1999.
- HORN, D. J., BULAN-BRADY, J., LAMAR HICKS, M. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. J Endod, v.24, p.786-790, 1998.
- HÖRSTED-BINDSLEV, P., MJÖR, I. A. Esthetic restoration, In: Modern concepts in operative dentistry. Copenhagen: Munksgaard, p. 190-246, 1988.
- HUNTER, R. S. The measurement of appearance. Ed. 2, New York: Wiley, 1987.
- IKEDA, T., NAKANISHI, A., YAMAMOTO, T., SANO, H. Color differences and color changes in Vita Shade tooth-colored restorative materials. Am J Dent, v.16, p.381-384, 2003.

- IKEDA, T., MURATA, Y., SANO, H. Translucency of opaque-shade composites. Am J Dent, v.17, n.2, p.127-130, April, 2004.
- IMAZATO, S., TARUMI, H., KATO, S., EBISU, S. Water sorption and colour stability of composites containing the antibacterial monomer MDPB. J Dent, v.27, p.279-283, 1999.
- INOKOSHI, S. M. B., BURROW, M. F., KATAUMI, M., YAMADA, T., TAKATSU, T. Opacity and color changes of tooth-colored restorative materials. Oper Dent, v.21, p.73-80, 1996.
- JANDA, R., ROULET, J. K., LATTA, M., STEFFIN, G., RÜTTERMANN, S. Color stability of resin matrix restorative materials as a function of the method of light activation. Eur J Oral Sci, v.114, p.280-285, 2004.
- JANDA, R., ROULET, J. K., KAMINSKY, M., STEFFIN, G., LATTA, M. Color stability of resin-based filling materials after aging when cured with plasma or halogen light. Eur J Oral Sci, v.113, p.251-257, 2005.
- JONHSTON, W. M., REISBICK, M. H. Color and translucency changes during and after curing of esthetic restorative materials. Dent Mater, v.13, p.89-97, 1997.
- JØRGENSEN, K. D. Restorative resins: abrasion vs. mechanical properties. Scand J Dent Res, v.88, p.557, 1980.
- KAWAGUCHI, M., FUKUSHIMA, T., MIYAZAKI, T. The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites. J Dent Res, v.73, n.2, p.516-521, 1994.
- KAO, E. C. Influence of food-simulating solvents on resin composites and glass ionomer restorative cement. Dent Mater; v.5, p.201-8, 1989.
- KIM, H. S., UM, C. M. Color differences between resin composites and shade guides. Quintessence Int, v.27, p.559-67, 1996.
- KIM, J. H., LEE, Y. K., POWERS, J. M. Influence of a series of organic and chemical substances on the translucency of resin composites. J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater, v.77B, p.21-27, 2006.
- KIM, J. J., MOON, H. J., LIM, B. S., LEE, Y. K., RHEE, S. H., YANG, H. C. The effect of nanofiller on the opacity of experimental composites. J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater, v.80B, p.332-338, 2007.

- KHOKHAR, Z. A., RAZZOOG, M. E., YAMAN, P. Color stability of restorative resins. Quintessence Int, v.22, p.733-737, 1991.
- KOLBECK, C., ROSENTRITT, M., LANG, R., HANDEL, G. Discoloration of facing and restorative composites by UV-irradiation and staining food. Dent Mater, v.22, p.63-68, 2006.
- KONK, F. E., GLEEN, J. F. Dental materials and method. U.S. Patent 2.558, 139, 1951.
- KROETZE, H. J., PLASSCHAERT, A. J., VAN'T HOF, M. A., TRUIN, G. J. Prevalence and need for replacement of amalgam and composite restoration in Dutch adults. Dent Res, v.69, p.1270-1274, 1990.
- LEE, Y. K., ZAWZHRY, M. E., KHALED, M. N., POWERS, J. M. Effect of mouthwash and accelerated aging on the color stability of esthetic restorative materials. Am J Dent, v.13, p.159-161, 2000.
- LEE, Y. K., LIM, B. S., KIM, C. W., POWERS, J. M. Color characteristics of low-chroma and high-translucence dental resin composites by different measuring modes. J Biomed Mater Res (Appl Biomater), v.58, p.613-621, 2001.
- LEE, Y. K., LIM, B. S., RHEE, S. H., YANG, H. C., POWERS, J. M. Color and translucency of A2 shade resin composites after curing, polishing and thermocycling. Oper Dent, v.30, p.436-442, 2005.
- LEE, Y. K., LU, H., OGURI, M., POWERS, J. M. Changes in color and staining of dental composite resins after wear simulation. J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater, v.82B, p.313-319, 2007.
- LEE, Y. K., POWERS, J. M. Color changes of resin composites in the reflectance and transmittance modes. Dent Mater, v.23, p.259-264, 2007.
- LEINFELDER, K. F. A new condensable composite for the restorative resins teeth. Dent Today, v.17, n.2, p.112-116, 1998.
- LEMAY, J. D., SWETLIN, B. J., KELLEY, F. N. Structure and fracture of highly crosslinked networks. ACS Symposium Series, v.243, p.165-83, 1984.
- LI, Y., SWARTZ, M. L., PHILLIPS, R. W., MOORE, B. K., ROBERTS, T. A. Effect of filler content and size on properties of composites. J Dent Res, v.64, p.1396-1401, 1985.

- MAIR, L. H. An investigation into the permeability of composite materials using silver nitrate. Dent Mater, v.5, p.109-114, 1989a.
- MAIR, L. H. Surface permeability and degradation of dental composites resulting from oral temperature changes. Dent Mater, v.5, p.247-255, 1989b.
- MAIR, L. H. Staining of vivo subsurface degradation in dental composite with silver nitrate. J Dent Res, v.70, p.215-220, 1991.
- MARCHETTI, R. M. Coroas venner. Verificação experimental da dureza, sorção de água e alteração de cor de algumas resinas para facetas. Fac. Farm. Odont. Ribeirão Preto, 1973 (Tese).
- MARK, J. E. Experimental determinations of crosslink densities. Rubber Chemistry and Technology, v.55, p.762-8, 1982.
- MILLER, L. L. Shade matching. J Esthet Dent, v.4, p.143-153, 1993.
- MILLER, L. L. Esthetic dentistry development program. Shad selection. J Esthet Dent, v.2, p.47-60, 1994.
- MIYAGAWA, Y., POWERS, J. M. Prediction of color of an esthetic restorative material. J Dent Res, v.62, p.311-322, 1983.
- MOLENAAR, R., TEN BOSCH, J. J., ZIJP, J. R. Determination of Kubelka-Munk scattering and absorption coefficients by diffuse illumination. Appl Opt, v.38, n.10, p.2068-2077, 1999.
- MUNKSGAARD, E. C., FREUND, M. Enzymatic hydrolysis of (di)methacrylates and their polymers. Scand J Dent Res, v.98, n.3, p.261-7. Jun, 1990.
- NAKAMURA, T., SAITO, O., MIZUNO, M., TANAKA, H. Changes in translucency and color of particulate filler composite resins. Int J Prosthodont, v.15, p.494-499, 2002.
- NOIE, F., O'KEEFE, K. L., POWERS, J. M. Color stability of resin cements after accelerated aging. Int J Prosthodont, v.8, p.51-55, 1995.
- OBREGON, A., GOODKIND, R. J., SCHWABACHER, W. B. Effect of opaque and porcelain surface texture on the color of ceramomental restorations. J Prosthet Dent; v.46, p.330-340, 1981.

- O'BRIEN W. J., GROH, C. L., BOENKE, K. M. A new small-color-difference equation for dental shades. J Dent Res, v.69, n.11, p.1762-1764, 1990.
- OKUBO, S. R., KANAWATI, A., RICHARDS, M. W., CHILDRESS, S. Evaluation of visual and instrument shade matching. J Prosthet Dent, v.80, n.6, p.642-8, 1998.
- OYSAED, H., RUYTER, I. E. Water sorption and filler characteristic of composites for use in posterior teeth. J Dent Res, v.65, n.1315-8, 1986.
- PARK, S. H. Comparison of degree of conversion for light-cured and additionally heat-cured composites. J Prosthet Dent, v.76, p.613-8, 1996.
- PEUTZFELDT, A., ASMUSSEN, E. Hardness of restorative resins: effects of camphorquinone, amine, and inhibitor. Acta Odontol Scand, v.47, p.229-231, 1989.
- PEUTZFELDT, A. Retention of propanal and diacetyl in experimental resins. Acta Odontol Scand, v.55, n.2, p.94-100. Apr, 1997.
- PEUTZFELDT, A., ASMUSSEN, E. Determinants of in vitro gap formation of resin composites. J Dent, v.32, n.2, p.109-15, Feb, 2004.
- PEUTZFELDT, A., ASMUSSEN, E. Resin composite properties and energy density of light cure. J Dent Res, v.84, n.7, p.659-62. Jul. 2005.
- POWERS, J. M., DENNISON, J. B., KORAN, A. Color stability of restorative resins under accelerated aging. J Dent Res, v.57, p.964-70, 1978.
- POWERS, J. M., YEH, C. L., MIYAGAWA, Y. Optical properties of composites of selected shades in white light. J Oral Rehabil, v.10, p.319-324, 1983.
- POWERS, J. M., MAKURAT, M. M., OGURA, H. Color and optical properties of posterior composites under accelerated aging. Dent Mater, v.1, p.62-67, 1985.
- POWERS, J. M., BAKUS, E. R., GOLDBERG, A. J. In vitro color changes of posterior composites. Dent Mater, v.4, p.151-154, 1988.
- REIS, A. C., PANZERI, H. AGNELLI, J. A. M. Caracterização microestrutural de uma resina condensável condensada manual e mecanicamente. Brazilian Oral Res, v.14, p.122, 2000.

- REIS, A., PELLIZZARO, A., DAL-BIANCO, K., GONES, O. M., PATZLAFF, R., LOGUERCIO, A. D. Impact of adhesive application to wet and dry dentin on long-term resin-dentin bond strengths. Oper Dent, v.32, n.4, p.380-7, Jul-Aug, 2007.
- ROBINSON, F. G., RUEGGERBERG, F. A., LOCKWOOD, P. E. Thermal stability of direct dental esthetic restorative materials at elevated temperature. J Forensic Sci, v.43, p.1163-1167, 1998.
- ROSENTRITT, M., LANG, R., PLEIN, T., BEHR, M., HANDEL, G. Discoloration of restorative materials after bleaching application. Quintessence Int, v.36, n.7, p.33-39, 2005.
- ROULET, J. F. Degradation of dental polymers. Basel: Karger, 1987.
- RUEGGERBERG, F. A., MARGESON, D. H. The effect of oxygen inhibition on an unfilled/filled composite system. J Dent Rest, v.69, p.1652-1658, 1990.
- RUSSELL, M. D., GULFRAZ, M., MOSS, B. W. In vitro measurement of colour changes in natural teeth. J Oral Rehabil, v.27, n.9, p.786-92, 2000.
- RUYTER, I. E., ØYSAED, H. Conversion in different depth of ultraviolet and visible light activated composite materials. Acta Odontol Scand, v.40, p.179-192, 1982.
- RUYTER, I. E., NILNER, K., MÖLLER, B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. Dent Mater, v.3, p.246-51, 1987.
- SANTOS, P. A., DIBB, R. G. P., CORONA, S. A. M., CATIRSE, A. B. E., GARCIA, P. P. N. S. Influence of fluoride-containing solutions on the translucency of flowable composite resins. J Mater Scie, v.38, p.3765-3768, 2003.
- SARAFIANOU, A., IOSIFIDOU, S., PAPADOPOULOS, T., ELIADES, G. Color stability and degree of cure of direct composite restoratives after accelerated aging. Oper Dent, v.32, n.4, p.406-11, Jul-Aug, 2007.
- SATOU, N., KHAN, A. M., MATSUMAE, I., SATOU, J., SHINTANI, H. In vitro color change of composite-based resins. Dent Mater, v.5, p.384-387, 1989.
- SCHANDA, J. D. Colorimetry. In: DeCusatis C. Handbook of applied photometry. New York: Optical Society of America Springer-Verlag, cap.10, p.327-412, 1998.

- SCHNEIDER, et al. Cross-link density evaluation through softening tests: Effect of ethanol concentration. Dent Mater, 2007. Article in press.
- SCHULZE, K. A., MARSHALL, S. J., GANSKY, S. A., MARSHALL, G. W. Color stability and hardness in dental composites after accelerated aging. Dental Mater, v.19, p.612-619, 2003.
- SEGHI, R. R., JOHNSTON, W. M., O'BRIEN, W. J. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. J Prosthet Dent, v.56, n.1, p.35-40. Jul, 1986.
- SEGHI, R. R., JOHNSTON, W. M., O'BRIEN, W. J. Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. J Dent Res, v.68, n.12, p.1755-9, 1989.
- SEGHI, R. R. Effects of instrument-measuring geometry on colorimetric assessments of dental porcelains. J Dent Res, v.69, p.1180-1183, 1990.
- SHEN, M. C., EISENBERG, A. Glass transition in polymers. In: Reiss H, editor. Progress in solid state chemistry, vol.3. Elmsford, NY: Pergamon Press; 1967. p.407-81.
- SHINTANI, H., YAMAKI, M., INOUE, T. Analysis of camphorquinone in visible light-cured composite resins. Dent Mater, v.1, p.124-126, 1985.
- SHORTALL, A. C., WILSON, H. J., HARRINGTON, E. Depth of cure of radiation-activated composite restoratives-influence of shade and opacity. J Oral Rehab, v.22, p.337-42, 1995.
- SIDERIDOU, I., TSERKI, V., PAPANASTASIOU G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. Biomaterials, v.23, p.1819, 2002.
- SILIKAS, N., ELIADES, G., WATTS, D. C. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. Dent Mater, v.16, n.292-296, 2000.
- SOH, M. S., YAP, A. U. J. Influence of curing modes on crosslink density in polymer structures. J Dent, v.32, p.321-26, 2004.
- SWIFT, Jr. E.L., HAMMEL, S. A., LUND, P. S. Colorimetric evaluation of Vita-shade resin composites. Int J Prosthodont, v.7, p.356-361, 1994.
- TANOUE, N., MATSUMURA, H., ATSUTA, M. Comparative evaluation of secondary heat treatment and a high intensity light source for the improvement of properties of prosthetic composites. J Oral Rehab, v.27, p.288-293, 2000.

TATE, W. H., PORTER, K. H., DOSCH, R. O. Successful photocuring: don't restore with out it. Oper Dent, v.24, p.109-14, 1999.

THORDRUP, M., ISIDOR, F., HORSTED-BINDSLEV, P. A one-year clinical study of indirect and direct composite and ceramic inlays. Scand J Dent Res, v.102, p.86-192, 1994.

TJAN, A. H. L., CHAN, C. A. The polishability of posterior composite. J Prosthet Dent, v.61, p.138-146, 1989.

TOUATI, B., AINDAN, N. Second generation laboratory composite resins for indirect restorations. J Esthet Dent, v.9, n.3, p.108-118, 1997.

UCHIDA, H., VAIDYNATHAN, J., VISWANADHAN, T., VAIDYANATHAN, T. K. Color stability of dental composites as a function of shade. J Prosthet Dent, v.79, p.372-377, 1998.

UM, C. M., RUYTER, E. Staining of resin based-veneering materials with coffee and tea. Quintessence Int, v.22, n.5, p.377-386, 1991.

VAN NOORT, R., DAVIS, L. G. The surface finish of composite resin restorative materials. Br Dent J, v.157, p.360-364, 1984.

VAN NOORT, R. Introduction to dental materials. London, England: Mosby-Times Mirror International Publishers Limited; p.89-102, 1994.

VARGAS, M. A., COBB, D. S., SCHMIT, J. L. Polymerization of composite resins: argon laser vs conventional light. Oper Dent, v.23, p.87-93, 1998.

VICHI, A., FERRARI, M., DAVIDSON, C. L. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. Dent Mater, v.20, p.530-534, 2004.

WENDT, S. L. The effect of heat used as secondary cure upon the physical properties of three composite resins. I. Diametral tensile strength compressive strength and marginal dimensional stability. Quintessence Int, v.18, p.265-271, 1987a.

WENDT, S. L. The effect of heat used as secondary cure upon the physical properties of three composite resins. II. Wear, hardness and color stability. Quintessence Int, v.18, p.351-356, 1987b.

WILSON, N. H., BURKE, F. J., MJOR, I. A. Reasons for placement and replacement of restorations of direct restorative materials by a selected group of practitioners in the United Kingdom. Quintessence Int, v.28, n.4, p.245-248, 1997.

WU, W., McKINNEY, J. E. Influences of chemical on wear of dental composites. J Dent Res, v.61, p.1180-3, 1982.

WYSZWICKI, G., STILES, W. S. Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae. 2a. ed. New York: John Wiley & Sons; 1982.

YAP, A. U. J., SIM, C. P. C., LOGANATHAN, V. Polymerization color changes of esthetic restoratives. Oper Dent, v.24, n.5, p.306-11, 1999.

YAP, A. U., SOH, M. S., HAN, T. T; SLOW, KS. Influence of curing lights and modes on cross-link density of dental composites. Oper Dent, v.29, p.410, 2004.

APÊNDICE

APÊNDICE

Apêndice I – Resultados da espectrofotometria dos corpos-de-prova (6) da resina Heliomolar A2 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/ Tempo	Antes			Após			Diferença (Δ) e ΔE			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Ambiente T30	71,32	4,85	21,50	70,35	4,32	20,93	-0,97	-0,53	-0,57	1,24
	71,40	3,85	22,07	70,54	4,10	21,48	-0,86	0,25	-0,59	1,07
	71,72	4,30	22,48	70,62	4,30	21,74	-1,10	0	-0,74	1,32
	71,47	4,60	22,81	70,27	4,49	22,19	-1,20	-0,11	-0,62	1,35
	71,52	4,10	21,14	69,59	3,75	24,62	-1,93	-0,35	3,48	3,99
	71,77	4,21	21,80	69,63	4,46	23,48	-2,14	0,25	1,68	2,73
Ambiente T90	71,30	3,87	23,57	71,01	4,61	23,74	-0,29	0,74	0,17	0,81
	71,00	6,46	19,09	70,43	4,86	24,49	-0,57	-1,60	5,40	5,66
	71,23	4,41	21,89	70,78	4,47	23,79	-0,45	0,06	1,90	1,95
	70,72	4,55	23,44	70,28	4,91	24,97	-0,44	0,36	1,53	1,63
	71,16	5,01	20,79	71,96	4,47	20,43	0,80	-0,54	-0,36	1,03
	71,75	4,61	22,26	70,54	4,74	24,42	-1,21	0,13	2,16	2,47
Geladeira T30	72,15	4,81	21,37	71,48	4,31	21,7	-0,67	-0,50	0,33	0,89
	71,89	4,94	22,23	71,95	4,73	20,79	0,06	-0,21	-1,44	1,45
	71,27	4,94	23,24	69,73	4,69	24,28	-1,54	-0,25	1,04	1,87
	71,09	4,58	22,84	69,83	4,58	23,30	-1,26	0	0,46	1,34
	71,39	5,24	22,51	69,81	5,06	23,11	-1,58	-0,18	0,60	1,69
	71,56	4,90	22,44	70,56	4,67	22,64	-1,00	-0,23	0,20	1,45
Geladeira T90	71,50	5,66	23,11	71,95	4,74	20,54	0,45	-0,92	-2,57	2,76
	70,75	5,33	23,90	71,05	5,27	22,35	0,30	-0,06	-1,55	1,57
	71,61	4,81	22,57	72,14	4,60	21,25	0,53	-0,21	-1,32	1,43
	71,11	6,02	23,66	71,00	5,32	25,63	-0,11	-0,70	1,97	2,09
	71,19	6,22	22,21	71,64	4,90	21,11	0,45	-1,32	-1,10	1,77
	71,80	5,19	24,30	71,15	5,37	22,94	-0,65	0,18	-1,36	1,51

L* (luminosidade); a* (eixo vermelho-verde); b* (eixo azul-amarelo); ΔL^* (L* “depois” – L* “antes”); Δa^* (a* “depois” – a* “antes”); Δb^* (b* “depois” – b* “antes”); e ΔE (alteração de cor)

Apêndice II – Resultados da espectrofotometria dos corpos-de-prova (6) da resina Heliomolar C3 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/ Tempo	Antes			Após			Diferença (Δ) e ΔE			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Ambiente T30	63,48	3,39	21,06	64,88	3,27	17,24	1,40	-0,12	-3,82	4,07
	64,22	3,66	20,65	65,62	3,36	17,66	1,40	-0,30	-2,99	3,31
	63,81	3,23	20,26	64,55	3,31	18,42	0,74	0,08	-1,84	1,98
	63,82	3,56	20,00	65,09	3,24	18,05	1,27	-0,32	-1,95	2,34
	63,93	3,57	20,05	65,01	3,28	18,57	1,08	-0,29	-1,48	1,85
	64,10	3,35	19,74	65,44	3,23	18,33	1,34	-0,12	-1,41	1,94
Ambiente T90	63,79	2,35	20,57	65,50	3,30	17,79	1,71	0,95	-2,78	3,39
	63,18	4,26	20,82	65,40	3,31	17,74	2,22	-0,95	-3,08	3,91
	63,20	3,59	21,89	64,71	3,60	20,02	1,51	0,01	-1,87	2,40
	63,23	5,04	19,57	64,38	3,97	19,28	1,15	-1,07	-0,29	1,59
	62,94	4,47	20,21	64,65	3,92	19,08	1,71	-0,55	-1,13	2,12
	64,08	4,48	19,51	65,83	3,34	18,78	1,75	-1,14	-0,73	2,21
Geladeira T30	63,34	3,55	21,40	64,64	3,06	18,17	1,30	-0,49	-3,23	3,51
	63,72	3,45	21,84	65,14	3,82	18,58	1,42	0,37	-3,26	3,57
	63,88	3,01	22,13	66,26	3,25	17,46	2,38	0,24	-4,67	5,24
	64,02	2,73	20,92	66,29	2,99	17,51	2,27	0,26	-3,41	4,10
	63,69	3,11	22,04	65,49	3,28	17,95	1,80	0,17	-4,09	4,47
	63,81	3,28	21,05	65,30	3,56	18,77	1,49	0,28	-2,28	2,73
Geladeira T90	64,11	3,17	21,76	67,03	3,25	15,37	2,92	0,08	-6,39	7,02
	64,52	3,76	20,02	65,80	3,68	19,19	1,28	-0,08	-0,83	1,52
	64,70	4,79	20,23	66,36	4,04	16,90	1,66	-0,75	-3,33	3,79
	64,20	2,66	21,40	66,41	3,01	16,07	2,21	0,35	-5,33	5,78
	63,68	3,03	20,80	66,63	2,93	15,55	2,95	-0,10	-5,25	6,02
	63,80	3,20	21,63	65,78	3,01	18,63	1,98	-0,19	-3,00	3,59

L* (luminosidade); a* (eixo vermelho-verde); b* (eixo azul-amarelo); ΔL^* (L* “depois” – L* “antes”); Δa^* (a* “depois” – a* “antes”); Δb^* (b* “depois” – b* “antes”); e ΔE (alteração de cor)

Apêndice III – Resultados da espectrofotometria dos corpos-de-prova (6) da resina 4 Seasons A2 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/ Tempo	Antes			Após			Diferença (Δ) e ΔE			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Ambiente T30	69,32	5,16	21,33	67,95	5,45	23,40	-1,37	0,29	2,07	2,49
	69,45	5,20	20,70	68,74	5,44	21,90	-0,71	0,24	1,20	1,41
	69,45	3,21	22,98	68,54	5,88	22,34	-0,91	2,67	-0,64	2,89
	69,68	4,55	20,92	68,88	5,20	22,47	-0,80	0,65	1,55	1,86
	69,00	4,33	21,06	67,12	5,41	22,35	-1,88	1,08	1,29	2,52
	70,34	4,78	21,02	69,89	4,09	25,30	-0,45	-0,69	4,28	4,35
Ambiente T90	68,96	4,61	21,88	68,81	5,44	22,98	-0,15	0,83	1,10	1,38
	68,57	4,97	20,98	68,22	5,63	23,43	-0,35	0,66	2,45	2,56
	69,81	4,55	21,67	68,54	5,61	25,08	-1,27	1,06	3,41	3,79
	69,80	4,92	22,03	69,00	5,33	26,03	-0,80	0,41	4,00	4,09
	66,58	3,42	21,88	68,21	5,45	22,06	1,63	2,03	0,18	2,60
	68,75	5,56	21,01	68,18	5,78	24,10	-0,57	0,22	3,09	3,14
Geladeira T30	69,04	4,36	21,46	67,89	5,69	23,99	-1,15	1,33	2,53	3,08
	69,49	4,60	20,78	68,50	5,42	23,33	-0,99	0,82	2,55	2,85
	69,35	5,28	19,81	68,13	5,55	23,54	-1,22	0,27	3,73	3,93
	68,98	5,08	20,84	67,95	5,38	23,37	-1,03	0,30	2,53	2,74
	68,72	4,94	21,38	67,95	5,66	24,23	-0,77	0,72	2,85	3,03
	68,06	5,38	19,86	67,81	5,99	22,51	-0,25	0,61	2,65	2,73
Geladeira T90	67,62	6,92	23,37	69,35	6,49	19,02	1,73	-0,43	-4,35	4,70
	67,93	6,60	22,94	70,11	6,01	16,61	2,18	-0,59	-6,33	6,72
	67,07	7,17	23,10	68,98	6,39	18,92	1,91	-0,78	-4,18	4,66
	68,97	6,49	22,74	70,07	6,5	21,01	1,10	0,01	-1,73	2,05
	68,23	6,41	22,36	69,33	6,25	19,24	1,10	-0,16	-3,12	3,31
	68,05	6,66	22,99	68,97	6,76	20,05	0,92	0,10	-2,94	3,08

L* (luminosidade); a* (eixo vermelho-verde); b* (eixo azul-amarelo); ΔL^* (L^* “depois” – L^* “antes”); Δa^* (a^* “depois” – a^* “antes”); Δb^* (b^* “depois” – b^* “antes”); e ΔE (alteração de cor)

Apêndice IV – Resultados da espectrofotometria dos corpos-de-prova (6) da resina 4 Seasons C3 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/ Tempo	Antes			Após			Diferença (Δ) e ΔE			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Ambiente T30	65,21	5,49	24,04	63,97	6,20	24,24	-1,24	0,71	0,20	1,44
	65,07	5,96	23,08	64,77	5,98	21,93	-0,30	0,02	-1,15	1,18
	64,88	5,28	24,52	64,68	6,25	22,32	-0,20	0,97	-2,20	2,41
	65,07	5,38	23,56	64,90	5,83	21,27	-0,17	0,45	-2,29	2,33
	65,18	5,19	22,63	65,41	5,71	19,56	0,23	0,52	-3,07	3,12
	63,44	6,40	22,58	65,04	6,18	21,36	1,60	-0,22	-1,22	2,02
Ambiente T90	63,70	5,07	22,41	65,09	5,96	18,35	1,39	0,89	-4,06	4,38
	63,95	6,50	23,14	64,06	6,36	23,77	0,11	-0,14	0,63	0,65
	63,92	6,15	23,24	64,75	6,27	21,78	0,83	0,12	-1,46	1,68
	63,20	3,44	22,07	64,98	4,08	19,40	1,78	0,64	-2,67	3,27
	64,39	6,62	23,76	65,52	6,35	20,62	1,13	-0,27	-3,14	3,34
	63,75	6,15	24,23	63,95	6,45	24,20	0,20	0,30	-0,03	4,38
Geladeira T30	64,53	5,61	22,09	64,93	6,21	21,32	0,40	0,60	-0,77	1,05
	63,39	5,73	21,90	64,13	6,20	20,53	0,74	0,47	-1,37	1,62
	63,86	6,10	22,38	63,81	5,94	21,91	-0,05	-0,16	-0,47	0,49
	64,03	5,93	23,96	63,96	6,47	22,82	-0,07	0,54	-1,14	1,26
	63,38	6,01	22,57	63,11	6,00	22,60	-0,27	-0,01	0,03	0,27
	64,10	6,21	21,48	64,53	6,34	20,82	0,43	0,13	-0,66	0,79
Geladeira T90	63,44	5,99	23,89	64,32	6,30	21,69	0,88	0,31	-2,20	2,38
	63,87	6,43	22,45	63,86	6,22	23,88	-0,01	-0,21	1,43	1,44
	63,51	5,86	24,19	64,99	6,05	21,03	1,48	0,19	-3,16	3,49
	64,54	6,44	23,75	64,91	6,44	23,71	0,37	0	-0,04	0,37
	63,15	6,41	24,26	63,58	6,56	24,24	0,43	0,15	-0,02	0,45
	63,53	6,09	23,96	64,54	6,27	21,81	1,01	0,18	-2,15	2,38

L* (luminosidade); a* (eixo vermelho-verde); b* (eixo azul-amarelo); ΔL^* (L^* “depois” – L^* “antes”); Δa^* (a^* “depois” – a^* “antes”); Δb^* (b^* “depois” – b^* “antes”); e ΔE (alteração de cor)

Apêndice V – Resultados da espectrofotometria dos corpos-de-prova (6) da resina Tetric EvoCeram A2 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/ Tempo	Antes			Após			Diferença (Δ) e ΔE			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Ambiente T30	69,65	6,18	22,32	69,26	6,23	18,94	-0,39	0,05	-3,38	3,40
	70,13	5,82	22,01	69,61	6,00	19,92	-0,52	0,18	-2,09	2,16
	68,75	6,22	22,70	69,77	6,46	19,74	1,02	0,24	-2,96	3,13
	69,87	6,24	23,27	69,16	6,44	19,83	-0,71	0,20	-3,44	3,51
	69,55	6,13	22,80	69,72	6,29	18,99	0,17	0,16	-3,81	3,81
	66,57	5,39	21,33	68,92	5,82	19,83	2,35	0,43	-1,50	2,82
Ambiente T90	67,21	6,39	22,42	69,07	6,39	18,72	1,86	0	-3,70	4,14
	68,12	6,96	22,23	69,72	6,21	18,39	1,60	-0,75	-3,84	4,22
	66,74	5,89	21,49	69,61	5,78	15,83	2,87	-0,11	-5,66	6,34
	68,56	7,36	22,53	69,50	6,34	19,74	0,94	-1,02	-2,79	3,11
	68,46	7,26	21,14	69,59	6,38	18,69	1,13	-0,88	-2,45	2,83
	68,11	6,41	23,21	69,9	6,27	18,85	1,79	-0,14	-4,36	4,71
Geladeira T30	68,89	5,96	22,38	68,80	6,47	21,07	-0,09	0,51	-1,31	1,40
	68,59	6,44	23,18	68,08	6,44	20,81	-0,51	0	-2,37	2,42
	69,99	5,54	22,45	70,42	6,17	19,03	0,43	0,63	-3,42	3,50
	67,69	7,18	21,48	68,34	6,59	19,35	0,65	-0,59	-2,13	2,30
	68,39	6,16	22,50	68,69	6,5	19,47	0,30	0,34	-3,03	3,06
	67,79	6,28	21,88	68,67	6,4	20,99	0,88	0,12	-0,89	1,25
Geladeira T90	67,85	5,44	21,48	68,25	5,36	23,01	0,40	-0,08	1,53	1,58
	68,33	4,92	21,59	68,21	5,65	24,36	-0,12	0,73	2,77	2,86
	68,16	5,19	21,65	67,80	5,48	24,16	-0,36	0,29	2,51	2,55
	68,92	4,26	20,42	68,90	5,23	22,25	-0,02	0,97	1,83	2,07
	69,51	4,98	21,30	69,70	5,73	22,52	0,19	0,75	1,22	1,44
	69,54	4,54	22,08	68,61	6,05	19,67	-0,93	1,51	-2,41	2,99

L* (luminosidade); a* (eixo vermelho-verde); b* (eixo azul-amarelo); ΔL^* (L^* “depois” – L^* “antes”); Δa^* (a^* “depois” – a^* “antes”); Δb^* (b^* “depois” – b^* “antes”); e ΔE (alteração de cor)

Apêndice VI – Resultados da espectrofotometria dos corpos-de-prova (6) da resina Tetric EvoCeram C3 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/ Tempo	Antes			Após			Diferença (Δ) e ΔE			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Ambiente T30	65,59	5,23	23,48	66,65	5,59	17,85	1,06	0,36	-5,63	5,74
	65,09	6,10	23,15	64,83	5,83	20,40	-0,26	-0,27	-2,75	2,77
	64,65	6,00	23,28	65,59	5,85	18,66	0,94	-0,15	-4,62	4,71
	65,61	5,66	23,70	66,88	5,72	16,55	1,27	0,06	-7,15	7,26
	64,68	5,93	22,65	65,29	5,67	18,40	0,61	-0,26	-4,25	4,30
	63,24	5,93	24,30	66,96	5,93	17,41	3,72	0	-6,89	7,83
Ambiente T90	63,87	6,19	22,33	66,28	5,47	16,37	2,41	-0,72	-5,96	6,46
	62,79	5,50	22,67	65,33	5,69	16,70	2,54	0,19	-5,97	6,49
	62,30	6,68	23,07	65,61	5,75	15,27	3,31	-0,93	-7,80	8,52
	63,29	6,84	23,73	65,73	6,01	18,26	2,44	-0,83	-5,47	6,04
	63,21	6,01	21,15	65,69	5,40	16,47	2,48	-0,61	-4,68	5,33
	64,18	5,13	22,36	66,57	5,49	15,82	2,39	0,36	-6,54	6,97
Geladeira T30	65,01	5,69	22,65	65,12	5,68	20,15	0,11	-0,01	-2,50	2,50
	64,40	6,28	22,86	65,45	5,79	17,65	1,05	-0,49	-5,21	5,33
	64,51	5,79	24,16	65,74	5,95	17,65	1,23	0,16	-6,51	6,62
	63,37	5,30	23,01	64,92	5,63	17,54	1,55	0,33	-5,47	5,69
	63,53	5,96	21,50	65,96	5,13	15,00	2,43	-0,83	-6,50	6,98
	63,26	6,83	20,50	65,72	5,60	16,77	2,46	-1,23	-3,73	4,63
Geladeira T90	64,67	5,38	22,7	65,99	5,67	17,12	1,32	0,29	-5,58	5,74
	64,61	5,55	24,26	67,08	5,45	17,18	2,47	-0,10	-7,08	7,49
	63,50	5,82	23,54	66,58	5,47	17,10	3,08	-0,35	-6,44	7,14
	64,15	5,61	23,60	66,39	5,34	17,12	2,24	-0,27	-6,48	6,86
	63,65	5,89	23,76	66,73	5,64	16,58	3,08	-0,25	-7,18	7,81
	63,86	6,42	23,35	65,93	5,83	17,93	2,07	-0,59	-5,42	5,83

L* (luminosidade); a* (eixo vermelho-verde); b* (eixo azul-amarelo); ΔL^* (L^* “depois” – L^* “antes”); Δa^* (a^* “depois” – a^* “antes”); Δb^* (b^* “depois” – b^* “antes”); e ΔE (alteração de cor)

Apêndice VII – Resultados da espectrofotometria dos corpos-de-prova (6) da resina Quixfil Universal antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/ Tempo	Antes			Após			Diferença (Δ) e ΔE			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Ambiente T30	75,09	-2,70	12,59	73,61	-1,86	17,53	-1,48	0,84	4,94	5,22
	75,47	-2,56	10,76	73,95	-1,89	16,89	-1,52	0,67	6,13	6,35
	75,32	-2,59	11,24	74,21	-1,77	14,39	-1,11	0,82	3,15	3,43
	75,96	-2,43	10,70	74,99	-1,64	15,39	-0,97	0,79	4,69	4,85
	75,23	-2,29	9,75	74,80	-1,70	14,79	-0,43	0,59	5,04	5,09
	72,05	5,14	22,36	73,72	-1,81	15,83	1,67	-6,95	-6,53	9,68
Ambiente T90	75,39	-1,70	9,07	73,96	-1,58	15,67	-1,43	0,12	6,60	6,75
	75,48	-1,76	9,25	74,01	-1,95	16,51	-1,47	-0,19	7,26	7,40
	75,13	-1,81	9,27	73,52	-2,03	16,52	-1,61	-0,22	7,25	7,42
	75,07	-1,89	11,17	73,40	-2,13	17,11	-1,67	-0,24	5,94	6,17
	74,46	-1,84	9,67	73,85	-1,52	15,18	-0,61	0,32	5,51	5,55
	74,41	-1,43	9,00	73,75	-1,79	16,50	-0,66	-0,36	7,50	7,53
Geladeira T30	74,25	-2,30	9,19	73,91	-1,63	14,44	-0,34	0,67	5,25	5,30
	75,34	-2,52	12,64	73,30	-1,70	18,17	-2,04	0,82	5,53	5,95
	73,98	-2,24	9,85	74,35	-1,47	13,90	0,37	0,77	4,05	4,13
	74,29	-2,01	9,00	74,02	-1,39	16,26	-0,27	0,62	7,26	7,29
	75,32	-2,47	10,2	73,64	-1,57	18,42	-1,68	0,90	8,22	8,43
	74,87	-1,69	8,09	74,59	-1,35	15,70	-0,28	0,34	7,61	7,62
Geladeira T90	74,26	-1,99	9,39	72,89	-1,62	16,83	-1,37	0,37	7,44	7,57
	74,08	-1,97	9,28	73,20	-1,76	16,32	-0,88	0,21	7,04	7,09
	74,43	-2,00	9,14	72,23	-2,00	19,88	-2,20	0	10,74	10,96
	74,04	-1,87	10,04	72,44	-1,92	18,30	-1,60	-0,05	8,26	8,41
	74,52	-1,7	8,18	73,92	-1,55	16,84	-0,60	0,15	8,66	8,68
	75,68	-1,75	9,52	73,39	-1,77	18,77	-2,29	-0,02	9,25	9,52

L* (luminosidade); a* (eixo vermelho-verde); b* (eixo azul-amarelo); ΔL^* (L^* “depois” – L^* “antes”); Δa^* (a^* “depois” – a^* “antes”); Δb^* (b^* “depois” – b^* “antes”); e ΔE (alteração de cor)

Apêndice VIII – Resultados da espectrofotometria dos corpos-de-prova (6) da resina SR Adoro A2 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/ Tempo	Antes			Após			Diferença (Δ) e ΔE			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Ambiente T30	71,44	4,41	21,15	69,76	4,19	24,93	-1,68	-0,22	3,78	4,14
	70,82	4,67	21,34	69,63	4,53	25,54	-1,19	-0,14	4,20	4,36
	71,45	3,70	21,50	70,10	4,23	24,75	-1,35	0,53	3,25	3,55
	70,80	4,57	21,43	69,75	4,50	25,94	-1,05	-0,07	4,51	4,63
	71,25	4,02	21,71	68,69	4,96	25,38	-2,56	0,94	3,67	4,57
	70,87	4,51	21,73	68,97	4,49	26,10	-1,90	-0,02	4,37	4,76
Ambiente T90	70,15	5,00	21,30	69,89	4,34	24,45	-0,26	-0,66	3,15	3,22
	70,47	4,50	21,70	69,84	4,16	24,67	-0,63	-0,34	2,97	3,05
	71,09	4,79	19,89	70,16	4,46	24,94	-0,93	-0,33	5,05	5,14
	70,65	5,01	21,71	69,63	4,45	25,24	-1,02	-0,56	3,53	3,71
	70,82	5,24	20,83	70,30	4,05	24,25	-0,52	-1,19	3,42	3,65
	70,69	5,20	21,26	69,77	4,75	25,93	-0,92	-0,45	4,67	4,78
Geladeira T30	70,79	4,74	20,12	69,90	4,55	24,85	-0,89	-0,19	4,73	4,81
	70,85	4,45	21,56	68,96	4,71	25,39	-1,89	0,26	3,83	4,27
	71,21	4,45	21,18	69,99	4,21	24,98	-1,22	-0,24	3,80	3,99
	71,03	4,45	20,00	68,11	4,52	25,28	-2,92	0,07	5,28	6,03
	71,05	4,80	19,51	70,09	4,17	25,27	-0,96	-0,63	5,76	5,87
	70,75	4,95	21,04	69,92	4,38	25,23	-0,83	-0,57	4,19	4,30
Geladeira T90	71,05	4,75	22,27	70,12	4,28	26,09	-0,93	-0,47	3,82	3,95
	71,49	4,63	20,91	70,49	5,22	23,44	-1,00	0,59	2,53	2,78
	70,22	4,98	22,23	69,86	4,87	25,65	-0,36	-0,11	3,42	3,44
	71,30	4,76	20,53	70,44	4,41	25,06	-0,86	-0,35	4,53	4,62
	70,84	4,49	21,76	70,38	4,11	25,23	-0,46	-0,38	3,47	3,52
	70,74	4,57	20,50	70,22	4,22	25,12	-0,52	-0,35	4,62	4,66

L* (luminosidade); a* (eixo vermelho-verde); b* (eixo azul-amarelo); ΔL^* (L^* “depois” – L^* “antes”); Δa^* (a^* “depois” – a^* “antes”); Δb^* (b^* “depois” – b^* “antes”); e ΔE (alteração de cor)

Apêndice IX – Resultados da espectrofotometria dos corpos-de-prova (6) da resina SR Adoro D4 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/ Tempo	Antes			Após			Diferença (Δ) e ΔE			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Ambiente T30	67,31	4,60	28,00	66,11	5,26	30,37	-1,20	0,66	2,37	2,73
	67,75	4,92	28,48	66,19	5,04	29,97	-1,56	0,12	1,49	2,16
	67,79	4,98	27,97	66,37	5,27	30,47	-1,42	0,29	2,50	2,88
	67,51	4,85	28,19	66,37	5,07	29,66	-1,14	0,22	1,47	1,87
	67,99	5,03	28,43	66,29	5,30	30,26	-1,70	0,27	1,83	2,51
	67,66	4,77	28,94	66,44	5,35	29,50	-1,22	0,58	0,56	1,46
Ambiente T90	68,15	4,01	29,22	67,52	4,85	29,19	-0,63	0,84	-0,03	1,05
	67,14	5,15	28,46	66,47	4,93	29,22	-0,67	-0,22	0,76	1,03
	67,79	5,47	28,45	67,20	4,62	30,14	-0,59	-0,85	1,69	1,98
	67,33	5,14	28,16	66,81	4,95	30,30	-0,52	-0,19	2,14	2,21
	67,73	5,49	29,07	66,92	5,53	30,82	-0,81	0,04	1,75	1,92
	68,21	5,22	28,86	67,17	4,77	31,28	-1,04	-0,45	2,42	2,67
Geladeira T30	67,18	5,25	27,01	66,17	5,64	30,04	-1,01	0,39	3,03	3,21
	67,26	4,92	28,73	65,97	5,26	30,03	-1,29	0,34	1,30	1,86
	67,78	5,19	28,49	66,51	5,41	31,02	-1,27	0,22	2,53	2,83
	68,25	4,80	28,87	67,05	5,41	30,93	-1,20	0,61	2,06	2,46
	67,40	5,08	28,57	66,47	5,55	30,15	-0,93	0,47	1,58	1,89
	67,51	4,96	28,91	66,57	5,47	31,2	-0,94	0,51	2,29	2,52
Geladeira T90	67,71	5,87	27,35	66,81	5,87	29,54	-0,90	0	2,19	2,36
	68,17	5,72	26,85	67,23	5,39	30,49	-0,94	-0,33	3,64	3,77
	67,35	5,57	26,84	67,05	5,57	28,82	-0,30	0	1,98	2,00
	67,12	5,58	27,50	66,65	5,02	30,54	-0,47	-0,56	3,04	3,12
	67,80	5,04	27,86	67,65	5,87	29,14	-0,15	0,83	1,28	1,53
	67,53	4,73	28,14	66,83	5,55	28,94	-0,70	0,82	0,80	1,34

L* (luminosidade); a* (eixo vermelho-verde); b* (eixo azul-amarelo); ΔL^* (L^* “depois” – L^* “antes”); Δa^* (a^* “depois” – a^* “antes”); Δb^* (b^* “depois” – b^* “antes”); e ΔE (alteração de cor)

Apêndice X – Resultados da espectrofotometria, para obtenção da Opacidade, dos corpos-de-prova (6) da resina Heliomolar A2 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Antes			Após		
	L*p	L*b	OI	L*p	L*b	OF
Ambiente T30	69,18	71,33	96,99	68,84	70,35	97,85
	69,49	71,40	97,32	69,36	70,54	98,33
	69,60	71,72	97,04	69,06	70,62	97,79
	68,81	71,47	96,28	68,55	70,27	97,55
	68,71	71,53	96,06	67,40	69,59	96,85
	69,74	71,77	97,17	68,06	69,63	97,75
Ambiente T90	68,83	71,30	96,54	69,33	71,01	97,63
	69,22	71,01	97,48	68,61	70,43	97,42
	69,13	71,24	97,04	69,02	70,78	97,51
	68,57	70,73	96,95	68,72	70,28	97,78
	69,00	71,15	96,98	70,03	71,96	97,32
	69,54	71,75	96,92	68,83	70,54	97,58
Geladeira T30	70,37	72,16	97,52	70,12	71,48	98,10
	69,62	71,89	96,84	70,29	71,95	97,69
	69,06	71,27	96,90	67,89	69,73	97,36
	68,95	71,10	96,98	68,10	69,83	97,52
	69,51	71,39	97,37	68,09	69,81	97,54
	69,50	71,56	97,12	68,90	70,56	97,64
Geladeira T90	69,45	71,50	97,13	70,41	71,95	97,86
	68,65	70,75	97,03	69,50	71,05	97,82
	69,63	71,60	97,25	70,74	72,14	98,06
	68,66	71,12	96,54	68,99	71,00	97,17
	68,96	71,18	96,88	69,95	71,64	97,64
	68,70	71,80	95,68	68,80	71,15	96,70

L*p (luminosidade sob fundo padrão preto); L*b (luminosidade sob fundo padrão branco); OI (Opacidade Inicial); OF (Opacidade Final)

Apêndice XI – Resultados da espectrofotometria, para obtenção da Opacidade, dos corpos-de-prova (6) da resina Heliomolar C3 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Antes			Após		
	L*p	L*b	OI	L*p	L*b	OF
Ambiente T30	62,54	63,47	98,53	64,36	64,88	99,20
	63,52	64,22	98,91	65,03	65,62	99,10
	63,26	63,80	99,15	63,99	64,55	99,13
	63,10	63,81	98,89	64,54	65,09	99,16
	63,17	63,92	98,83	64,65	65,01	99,45
	63,64	64,09	99,30	65,13	65,44	99,53
Ambiente T90	63,02	63,78	98,81	64,64	65,5	98,69
	62,40	63,17	98,78	64,93	65,4	99,28
	62,42	63,19	98,78	64,27	64,71	99,32
	62,20	63,22	98,39	63,74	64,38	99,01
	62,08	62,93	98,65	64,02	64,65	99,03
	63,39	64,07	98,94	65,34	65,83	99,26
Geladeira T30	62,87	63,33	99,27	64,16	64,64	99,26
	62,93	63,71	98,78	64,53	65,14	99,06
	63,38	63,88	99,22	65,69	66,26	99,14
	63,41	64,01	99,06	65,83	66,29	99,31
	63,10	63,68	99,09	64,89	65,49	99,08
	63,14	63,80	98,97	64,75	65,3	99,16
Geladeira T90	63,43	64,11	98,94	66,57	67,03	99,31
	63,53	64,52	98,47	65,11	65,8	98,95
	63,72	64,69	98,50	65,75	66,36	99,08
	63,61	64,19	99,10	66,03	66,41	99,43
	63,02	63,68	98,96	66,20	66,63	99,35
	63,32	63,80	99,25	65,34	65,78	99,33

L*p (luminosidade sob fundo padrão preto); L*b (luminosidade sob fundo padrão branco); OI (Opacidade Inicial); OF (Opacidade Final)

Apêndice XII – Resultados da espectrofotometria, para obtenção da Opacidade, dos corpos-de-prova (6) da resina Tetric EvoCeram A2 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Antes			Após		
	L*p	L*b	OI	L*p	L*b	OF
Ambiente T30	63,88	69,66	91,70	65,02	69,26	93,88
	64,82	70,13	92,43	65,75	69,61	94,45
	62,78	68,74	91,33	65,27	69,77	93,55
	63,92	69,88	91,47	64,90	69,16	93,84
	63,65	69,55	91,52	65,44	69,72	93,86
	59,55	66,56	89,47	64,00	68,92	92,86
Ambiente T90	60,07	67,21	89,38	64,3	69,07	93,09
	62,20	68,11	91,32	65,56	69,72	94,03
	60,61	66,74	90,82	65,55	69,61	94,17
	62,23	68,56	90,77	65,27	69,50	93,91
	62,53	68,45	91,35	65,45	69,59	94,05
	61,77	68,11	90,69	65,87	69,90	94,23
Geladeira T30	63,17	68,89	91,70	64,60	68,80	93,90
	62,84	68,59	91,62	64,03	68,08	94,05
	63,97	69,98	91,41	65,62	70,42	93,18
	62,59	67,69	92,47	64,89	68,34	94,95
	63,19	68,38	92,41	65,17	68,69	94,88
	61,96	67,79	91,40	64,07	68,67	93,30
Geladeira T90	61,38	67,85	90,46	62,84	68,25	92,07
	61,01	68,34	89,27	62,07	68,21	91,00
	61,60	68,17	90,36	62,39	67,80	92,02
	61,39	68,92	89,07	63,24	68,90	91,79
	61,07	69,51	87,86	62,89	69,70	90,23
	60,95	69,55	87,63	62,70	68,61	91,39

L*p (luminosidade sob fundo padrão preto); L*b (luminosidade sob fundo padrão branco); OI (Opacidade Inicial); OF (Opacidade Final)

Apêndice XIII – Resultados da espectrofotometria, para obtenção da Opacidade, dos corpos-de-prova (6) da resina Tetric EvoCeram C3 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Antes			Após		
	L*p	L*b	OI	L*p	L*b	OF
Ambiente T30	60,07	65,59	91,58	62,39	66,65	93,61
	59,81	65,10	91,87	60,71	64,83	93,64
	59,31	64,64	91,75	61,71	65,59	94,08
	60,10	65,60	91,62	63,03	66,88	94,24
	60,00	64,68	92,76	62,12	65,29	95,14
	55,64	63,24	87,98	62,08	66,96	92,71
Ambiente T90	58,26	63,86	91,23	62,77	66,28	94,70
	58,49	62,79	93,15	62,68	65,33	95,94
	57,08	62,30	91,62	62,15	65,61	94,73
	57,83	63,28	91,39	61,88	65,73	94,14
	58,40	63,21	92,39	62,50	65,69	95,14
	59,28	64,18	92,37	63,14	66,57	94,85
Geladeira T30	60,23	65,00	92,66	61,34	65,12	94,20
	59,28	64,40	92,05	61,83	65,45	94,47
	59,21	64,50	91,80	61,72	65,74	93,89
	59,00	63,37	93,10	61,88	64,92	95,32
	59,28	63,53	93,31	62,79	65,96	95,19
	58,42	63,26	92,35	60,13	65,72	91,49
Geladeira T90	59,89	64,67	92,61	63,12	65,99	95,65
	59,25	64,61	91,70	63,40	67,08	94,51
	58,52	63,50	92,16	63,17	66,58	94,88
	59,36	64,14	92,55	62,91	66,39	94,76
	58,34	63,65	91,66	63,02	66,73	94,44
	59,13	63,86	92,59	62,65	65,93	95,03

L*p (luminosidade sob fundo padrão preto); L*b (luminosidade sob fundo padrão branco); OI (Opacidade Inicial); OF (Opacidade Final)

Apêndice XIV – Resultados da espectrofotometria, para obtenção da Opacidade, dos corpos-de-prova (6) da resina 4 Seasons A2 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Antes			Após		
	L*p	L*b	OI	L*p	L*b	OF
Ambiente T30	61,94	69,32	89,35	62,03	67,95	91,29
	62,12	69,45	89,45	62,78	68,74	91,33
	61,87	69,46	89,07	62,34	68,54	90,95
	62,63	69,69	89,87	63,61	68,88	92,35
	62,59	69,01	90,70	62,17	67,12	92,63
	67,08	70,34	95,37	67,04	69,89	95,92
Ambiente T90	61,49	68,96	89,17	62,97	68,81	91,51
	61,74	68,57	90,04	62,82	68,22	92,08
	60,74	69,82	87,00	61,39	68,54	89,57
	60,52	69,80	86,70	61,19	69,00	88,68
	61,83	66,57	92,88	62,97	68,21	92,32
	61,62	68,76	89,62	62,06	68,18	91,02
Geladeira T30	61,92	69,04	89,69	61,92	67,89	91,21
	62,10	69,49	89,37	62,40	68,50	91,09
	62,41	69,35	89,99	62,72	68,13	92,06
	62,04	68,99	89,93	62,74	67,95	92,33
	61,46	68,72	89,44	62,45	67,95	91,91
	61,23	68,06	89,96	62,41	67,81	92,04
Geladeira T90	62,01	67,61	91,72	65,23	69,35	94,06
	61,94	67,92	91,20	66,13	70,11	94,32
	61,62	67,07	91,87	65,06	68,98	94,32
	62,19	68,97	90,17	65,15	70,07	92,98
	62,15	68,23	91,09	65,38	69,33	94,30
	61,99	68,05	91,09	64,53	68,97	93,56

L*p (luminosidade sob fundo padrão preto); L*b (luminosidade sob fundo padrão branco); OI (Opacidade Inicial); OF (Opacidade Final)

Apêndice XV – Resultados da espectrofotometria, para obtenção da Opacidade, dos corpos-de-prova (6) da resina 4 Seasons C3 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Antes			Após		
	L*p	L*b	OI	L*p	L*b	OF
Ambiente T30	58,86	65,21	90,26	58,86	63,97	92,01
	58,90	65,07	90,52	59,89	64,77	92,47
	58,78	64,89	90,58	59,82	64,68	92,49
	58,93	65,08	90,55	60,08	64,90	92,57
	59,86	65,17	91,85	61,43	65,41	93,92
	57,41	63,43	90,51	60,03	65,04	92,30
Ambiente T90	58,66	63,69	92,10	61,25	65,09	94,10
	57,65	63,94	90,16	59,15	64,06	92,34
	58,04	63,92	90,80	60,00	64,75	92,66
	62,01	63,19	98,13	63,78	64,98	98,15
	57,93	64,39	89,97	60,40	65,52	92,19
	57,83	63,74	90,73	58,97	63,95	92,21
Geladeira T30	58,44	64,52	90,58	60,26	64,93	92,81
	59,13	63,39	93,28	60,54	64,13	94,40
	58,21	63,87	91,14	59,27	63,81	92,89
	58,40	64,03	91,21	59,29	63,96	92,70
	57,95	63,39	91,42	58,86	63,11	93,27
	58,17	64,09	90,76	59,95	64,53	92,90
Geladeira T90	57,69	63,43	90,95	59,99	64,32	93,27
	58,17	63,87	91,08	59,00	63,86	92,39
	57,84	63,50	91,09	60,63	64,99	93,29
	57,95	64,53	89,80	59,72	64,91	92,00
	56,98	63,14	90,24	58,82	63,58	92,51
	57,67	63,52	90,79	60,01	64,54	92,98

L*p (luminosidade sob fundo padrão preto); L*b (luminosidade sob fundo padrão branco); OI (Opacidade Inicial); OF (Opacidade Final)

Apêndice XVI – Resultados da espectrofotometria, para obtenção da Opacidade, dos corpos-de-prova (6) da resina QuiXfil Universal antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Antes			Após		
	L*p	L*b	OI	L*p	L*b	OF
Ambiente T30	64,21	75,10	85,50	66,29	73,61	90,06
	65,19	75,47	86,38	66,54	73,95	89,98
	65,24	75,33	86,61	69,43	74,21	93,56
	65,65	75,96	86,43	68,64	74,99	91,53
	65,47	75,24	87,01	69,47	74,80	92,87
	62,11	72,04	86,22	66,90	73,72	90,75
Ambiente T90	64,50	75,39	85,56	67,03	73,96	90,63
	65,25	75,48	86,45	66,65	74,01	90,06
	65,15	75,14	86,70	66,32	73,52	90,21
	63,84	75,08	85,03	65,57	73,40	89,33
	63,61	74,46	85,43	67,01	73,85	90,74
	63,75	74,41	85,67	66,35	73,75	89,97
Geladeira T30	64,52	74,25	86,90	67,55	73,91	91,39
	64,43	75,35	85,51	65,36	73,30	89,17
	64,44	73,98	87,10	68,66	74,35	92,35
	64,90	74,30	87,35	67,70	74,02	91,46
	63,94	75,32	84,89	65,36	73,64	88,76
	63,52	74,87	84,84	59,95	64,53	92,90
Geladeira T90	64,20	74,27	86,44	66,16	72,89	90,77
	63,40	74,09	85,57	65,88	73,20	90,00
	63,00	74,05	85,08	65,42	72,44	90,31
	63,94	74,52	85,80	66,74	73,92	90,29
	64,46	75,68	85,17	65,43	73,39	89,15
	63,79	74,57	85,54	66,16	73,24	90,33

L*p (luminosidade sob fundo padrão preto); L*b (luminosidade sob fundo padrão branco); OI (Opacidade Inicial); OF (Opacidade Final)

Apêndice XVII – Resultados da espectrofotometria, para obtenção da Opacidade, dos corpos-de-prova (6) da resina SR Adoro A2 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Antes			Após		
	L*p	L*b	OI	L*p	L*b	OF
Ambiente T30	68,13	71,44	95,37	67,10	69,76	96,19
	67,20	70,82	94,89	66,42	69,63	95,39
	68,32	71,45	95,62	67,28	70,10	95,98
	67,39	70,81	95,17	66,48	69,75	95,31
	68,05	71,26	95,50	65,83	68,69	95,84
	66,82	70,88	94,27	66,24	68,97	96,04
Ambiente T90	67,62	70,16	96,38	67,30	69,89	96,29
	67,62	70,48	95,94	66,89	69,84	95,78
	68,30	71,09	96,08	67,56	70,16	96,29
	67,55	70,65	95,61	67,07	69,63	96,32
	68,02	70,83	96,03	67,77	70,30	96,40
	67,25	70,69	95,13	66,71	69,77	95,61
Geladeira T30	67,91	70,79	95,93	67,30	69,90	96,28
	67,80	70,86	95,68	67,54	68,96	97,94
	67,61	71,21	94,94	67,34	69,99	96,21
	68,12	71,04	95,89	65,46	68,11	96,11
	68,12	71,06	95,86	67,40	70,09	96,16
	66,79	70,76	94,39	66,90	69,92	95,68
Geladeira T90	67,68	71,06	95,24	67,17	70,12	95,79
	68,26	71,50	95,47	67,39	70,49	95,60
	67,01	70,22	95,43	67,07	69,86	96,01
	68,69	71,31	96,33	68,08	70,44	96,65
	67,71	70,84	95,58	67,26	70,38	95,57
	67,51	70,74	95,43	67,31	70,22	95,86

L*p (luminosidade sob fundo padrão preto); L*b (luminosidade sob fundo padrão branco); OI (Opacidade Inicial); OF (Opacidade Final)

Apêndice XVIII – Resultados da espectrofotometria, para obtenção da Opacidade, dos corpos-de-prova (6) da resina SR Adoro D4 antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Antes			Após		
	L*p	L*b	OI	L*p	L*b	OF
Ambiente T30	62,93	67,31	93,49	62,25	66,11	94,16
	62,68	67,75	92,52	61,66	66,19	93,16
	62,87	67,80	92,73	61,84	66,37	93,17
	62,89	67,52	93,14	62,72	66,37	94,50
	62,78	67,99	92,34	61,60	66,29	92,93
	63,30	67,67	93,54	61,97	66,44	93,27
Ambiente T90	63,62	68,16	93,34	63,47	67,52	94,00
	62,52	67,14	93,12	62,40	66,47	93,88
	63,49	67,80	93,64	63,11	67,20	93,91
	62,38	67,34	92,63	62,09	66,81	92,94
	62,63	67,74	92,46	62,13	66,92	92,84
	63,56	68,21	93,18	62,74	67,17	93,40
Geladeira T30	62,34	67,18	92,80	61,76	66,17	93,34
	62,37	67,27	92,72	61,53	65,97	93,27
	62,63	67,79	92,39	61,82	66,51	92,95
	64,33	68,25	94,26	63,42	67,05	94,59
	62,41	67,41	92,58	61,86	66,47	93,06
	62,72	67,52	92,89	60,72	66,57	91,21
Geladeira T90	62,36	67,72	92,09	61,89	66,81	92,64
	63,70	68,18	93,43	63,09	67,23	93,84
	62,96	67,36	93,47	63,01	67,05	93,97
	62,04	67,12	92,43	61,92	66,65	92,90
	62,86	67,80	92,71	63,94	67,65	94,52
	62,91	67,54	93,14	62,63	66,83	93,72

L*p (luminosidade sob fundo padrão preto); L*b (luminosidade sob fundo padrão branco); OI (Opacidade Inicial); OF (Opacidade Final)

Apêndice XIX – Os valores de dureza Knoop do compósito Heliomolar A2, antes da imersão dos corpos-de-prova em solução de etanol (KNH1); após sua imersão na solução citado por 24 horas (KNH2); sua respectiva média e desvio padrão; e a diferença entre estes (Δ KNH), antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Amostra Envelhecida	KNH1 KNH2	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	Média	Δ KNH
Ambiente T30	Não	KNH 1	42,1	45,2	46,0	44,4 $\pm$ 5,66	4,1
	Não	KNH 2	46,6	38,8	35,6	40,3 $\pm$ 2,06	
	Sim	KNH 1	73,3	82,8	78,5	78,2 $\pm$ 4,76	54,3
	Sim	KNH 2	27,1	23,9	20,8	23,9 $\pm$ 3,15	
Ambiente T90	Não	KNH 1	46,5	39,1	41	42,2 $\pm$ 3,84	26,4
	Não	KNH 2	16,4	14,2	16,7	15,8 $\pm$ 1,37	
	Sim	KNH 1	37,8	39,8	40,6	39,4 $\pm$ 1,44	5,2
	Sim	KNH 2	32,5	37,5	32,5	34,2 $\pm$ 2,81	
Geladeira T30	Não	KNH 1	32,5	35,3	36,5	34,8 $\pm$ 2,05	20,3
	Não	KNH 2	16,6	14,6	12,2	14,5 $\pm$ 2,20	
	Sim	KNH 1	38,9	39,5	45,8	41,4 $\pm$ 3,82	9,8
	Sim	KNH 2	30,9	28,4	35,4	31,6 $\pm$ 3,55	
Geladeira T90	Não	KNH 1	40,2	39,3	38,1	39,2 $\pm$ 1,05	27,1
	Não	KNH 2	12,8	11,5	11,9	12,1 $\pm$ 0,67	
	Sim	KNH 1	56,1	46,7	48,8	50,5 $\pm$ 4,93	20,7
	Sim	KNH 2	30,7	24,4	34,4	29,8 $\pm$ 5,06	

Apêndice XX – Os valores de dureza Knoop do compósito Heliomolar C3, antes da imersão dos corpos-de-prova em solução de etanol (KNH1); após sua imersão na solução citado por 24 horas (KNH2); sua respectiva média e desvio padrão; e a diferença entre estes (Δ KNH), antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Amostra Envelhecida	KNH1 KNH2	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	Média	Δ KNH
Ambiente T30	Não	KNH 1	53,9	53,1	51,8	52,9 $\pm$ 1,06	24,2
	Não	KNH 2	28,5	29,7	28	28,7 $\pm$ 0,87	
	Sim	KNH 1	49,2	55,9	54,8	53,3 $\pm$,59	21,8
	Sim	KNH 2	29,8	32,9	31,9	31,5 $\pm$ 5,02	
Ambiente T90	Não	KNH 1	28,3	30,1	31,5	30 $\pm$ 1,60	18,8
	Não	KNH 2	11,1	11,6	10,8	11,2 $\pm$ 0,4	
	Sim	KNH 1	52,3	50,4	53,4	52 $\pm$ 1,52	16,4
	Sim	KNH 2	38,9	33,1	34,7	35,6 $\pm$ 30	
Geladeira T30	Não	KNH 1	36,5	36,2	36,2	36,3 $\pm$ 0,17	21,7
	Não	KNH 2	14,1	15,2	14,4	14,6 $\pm$ 0,57	
	Sim	KNH 1	46,4	37,9	47,4	43,9 $\pm$ 5,22	-0,5
	Sim	KNH 2	47,5	42,8	42,9	44,4 $\pm$ 2,69	
Geladeira T90	Não	KNH 1	37,2	38,2	40,7	38,7 $\pm$ 1,80	29,12
	Não	KNH 2	9,04	10,1	9,61	9,58 $\pm$ 0,53	
	Sim	KNH 1	44,1	45,9	39,5	43,2 $\pm$ 3,30	19,2
	Sim	KNH 2	21,5	21,8	28,6	24,0 $\pm$ 4,02	

Apêndice XXI – Os valores de dureza Knoop do compósito Tetric EvoCeram A2, antes da imersão dos corpos-de-prova em solução de etanol (KNH1); após sua imersão na solução citado por 24 horas (KNH2); sua respectiva média e desvio padrão; e a diferença entre estes (Δ KNH), antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Amostra Envelhecida	KNH1 KNH2	1 ^a Leitura	2 ^a Leitura	3 ^a Leitura	Média	Δ KNH
Ambiente T30	Não	KNH 1	58,5	69,5	60,7	62,9 $\pm$ 5,82	30
	Não	KNH 2	31,7	34,2	32,7	32,9 $\pm$ 1,26	
	Sim	KNH 1	64,7	64,9	61,9	63,7 $\pm$ 1,85	19,4
	Sim	KNH 2	46,2	41,6	45,1	44,3 $\pm$ 2,40	
Ambiente T90	Não	KNH 1	48,0	42,5	45,3	45,3 $\pm$ 2,75	24,3
	Não	KNH 2	21,5	22,4	19,0	21,0 $\pm$ 1,76	
	Sim	KNH 1	54,2	61,6	56,8	57,5 $\pm$ 3,75	6,2
	Sim	KNH 2	50,8	48,3	54,7	51,3 $\pm$ 3,23	
Geladeira T30	Não	KNH 1	58,0	50,8	52,8	53,9 $\pm$ 3,72	26,3
	Não	KNH 2	27,4	27,0	28,4	27,6 $\pm$ 0,72	
	Sim	KNH 1	61,8	64,0	57,2	61,0 $\pm$ 3,47	8,9
	Sim	KNH 2	45,7	52,6	58,0	52,1 $\pm$ 6,12	
Geladeira T90	Não	KNH 1	31,1	37,6	39,9	36,2 $\pm$ 4,56	20,3
	Não	KNH 2	15,8	16,0	15,9	15,9 $\pm$ 0,10	
	Sim	KNH 1	59,4	59,9	55,7	58,3 $\pm$ 2,29	14,3
	Sim	KNH 2	44,7	44,5	42,9	44,0 $\pm$ 0,99	

Apêndice XXII – Os valores de dureza Knoop do compósito Tetric EvoCeram C3, antes da imersão dos corpos-de-prova em solução de etanol (KNH1); após sua imersão na solução citado por 24 horas (KNH2); sua respectiva média e desvio padrão; e a diferença entre estes (Δ KNH), antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Amostra Envelhecida	KNH1 KNH2	1 ^a Leitura	2 ^a Leitura	3 ^a Leitura	Média	Δ KNH
Ambiente T30	Não	KNH 1	50,9	58,4	54,7	54,7 $\pm$ 3,75	22,5
	Não	KNH 2	33,3	33,8	29,5	32,2 $\pm$ 2,35	
	Sim	KNH 1	64,7	59,8	62,2	62,2 $\pm$ 2,45	5,2
	Sim	KNH 2	52,8	51,6	66,5	57,0 $\pm$ 8,28	
Ambiente T90	Não	KNH 1	50,8	47,9	50,3	49,7 $\pm$ 1,55	28,8
	Não	KNH 2	21,1	19,9	21,6	20,9 $\pm$ 0,87	
	Sim	KNH 1	54,3	66,6	45,1	55,3 $\pm$ 10,79	9,7
	Sim	KNH 2	44,6	41,9	50,4	45,6 $\pm$ 4,34	
Geladeira T30	Não	KNH 1	48,9	48,4	53,7	50,3 $\pm$ 2,93	27,7
	Não	KNH 2	18,2	24,3	25,3	22,6 $\pm$ 3,84	
	Sim	KNH 1	57,3	58,8	73,4	63,2 $\pm$ 8,89	17,7
	Sim	KNH 2	42,7	46,4	47,4	45,5 $\pm$ 2,48	
Geladeira T90	Não	KNH 1	43,8	46,7	45,0	45,2 $\pm$ 1,46	24,5
	Não	KNH 2	18,5	22,2	21,4	20,7 $\pm$ 1,95	
	Sim	KNH 1	58,9	61,7	64,8	61,8 $\pm$ 2,95	9,8
	Sim	KNH 2	46,2	49,8	60,1	52,0 $\pm$ 7,21	

Apêndice XXIII – Os valores de dureza Knoop do compósito 4 Seasons A2, antes da imersão dos corpos-de-prova em solução de etanol (KNH1); após sua imersão na solução citado por 24 horas (KNH2); sua respectiva média e desvio padrão; e a diferença entre estes (Δ KNH), antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Amostra Envelhecida	KNH1 KNH2	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	Média	Δ KNH
Ambiente T30	Não	KNH 1	51,2	49,4	56,2	52,3 $\pm$ 3,52	25,5
	Não	KNH 2	25,6	27,3	27,5	26,8 $\pm$ 1,04	
	Sim	KNH 1	52,9	68,7	61,2	60,8 $\pm$ 8,06	8,3
	Sim	KNH 2	50,4	49,8	57,2	52,5 $\pm$ 4,11	
Ambiente T90	Não	KNH 1	55,8	57,1	55,3	56,1 $\pm$ 0,93	26
	Não	KNH 2	32,5	30,5	27,4	30,1 $\pm$ 2,57	
	Sim	KNH 1	67,8	59,3	62,1	63,1 $\pm$ 4,33	14,7
	Sim	KNH 2	47,2	46,6	51,3	48,4 $\pm$ 2,56	
Geladeira T30	Não	KNH 1	47,4	45,3	44,6	45,8 $\pm$ 1,46	26,1
	Não	KNH 2	20,3	19,2	19,7	19,7 $\pm$ 0,55	
	Sim	KNH 1	55,2	53,3	61	56,5 $\pm$ 4,01	2,1
	Sim	KNH 2	51,4	55,4	56,4	54,4 $\pm$ 2,65	
Geladeira T90	Não	KNH 1	48,6	51,9	44,5	48,3 $\pm$ 3,71	25,8
	Não	KNH 2	22,3	22,3	22,8	22,5 $\pm$ 0,29	
	Sim	KNH 1	56,2	56,6	58,0	56,9 $\pm$ 0,95	13,4
	Sim	KNH 2	44,9	41,2	44,4	43,5 $\pm$ 2,01	

Apêndice XXIV – Os valores de dureza Knoop do compósito 4 Seasons C3, antes da imersão dos corpos-de-prova em solução de etanol (KNH1); após sua imersão na solução citado por 24 horas (KNH2); sua respectiva média e desvio padrão; e a diferença entre estes (Δ KNH), antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Amostra Envelhecida	KNH1 KNH2	1 ^a Leitura	2 ^a Leitura	3 ^a Leitura	Média	Δ KNH
Ambiente T30	Não	KNH 1	60,9	74,9	59,7	65,2±8,45	33,4
	Não	KNH 2	32,9	30,6	31,9	31,8±1,15	
	Sim	KNH 1	58,4	67,8	50,8	59,0±8,52	12,6
	Sim	KNH 2	48,6	44,6	45,9	46,4±2,04	
Ambiente T90	Não	KNH 1	57,0	57,1	58,0	57,4±0,55	27,5
	Não	KNH 2	29,3	31,7	28,7	29,9±1,59	
	Sim	KNH 1	55,6	51,0	57,6	54,7±3,38	2,5
	Sim	KNH 2	51,5	56,5	48,6	52,2±4,00	
Geladeira T30	Não	KNH 1	59,4	59,1	55,2	57,9±2,34	28
	Não	KNH 2	29,0	30,8	29,9	29,9±0,90	
	Sim	KNH 1	50,5	53,4	51,8	51,9±1,45	0
	Sim	KNH 2	50,5	52,4	52,9	51,9±1,27	
Geladeira T90	Não	KNH 1	56,5	51,2	55,5	54,4±2,82	23
	Não	KNH 2	33,0	32,0	29,2	31,4±1,97	
	Sim	KNH 1	55,3	64,1	69,1	62,8±6,99	13,6
	Sim	KNH 2	46,3	51,2	50,1	49,2±2,57	

Apêndice XXV – Os valores de dureza Knoop do compósito QuiXfil Universal, antes da imersão dos corpos-de-prova em solução de etanol (KNH1); após sua imersão na solução citado por 24 horas (KNH2); sua respectiva média e desvio padrão; e a diferença entre estes (Δ KNH), antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Amostra Envelhecida	KNH1 KNH2	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	Média	Δ KNH
Ambiente T30	Não	KNH 1	80,2	79,1	80,6	80,0 $\pm$ 0,78	15
	Não	KNH 2	61,5	59,4	74,2	65,0 $\pm$ 8,01	
	Sim	KNH 1	92,6	65,0	96,9	84,8 $\pm$ 17,31	0,9
	Sim	KNH 2	89,3	81,2	81,1	83,9 $\pm$ 4,71	
Ambiente T90	Não	KNH 1	84,1	90,6	110	94,6 $\pm$ 13,47	51,6
	Não	KNH 2	47,4	41,0	40,6	43,0 $\pm$ 3,82	
	Sim	KNH 1	104	65,5	86,6	85,4 $\pm$ 19,28	-0,4
	Sim	KNH 2	97,4	84,9	75,0	85,8 $\pm$ 11,23	
Geladeira T30	Não	KNH 1	91,2	104	86,1	93,8 $\pm$ 9,22	41,9
	Não	KNH 2	47,4	50,6	57,6	51,9 $\pm$ 5,22	
	Sim	KNH 1	116	71,6	90,4	92,7 $\pm$ 22,29	1,1
	Sim	KNH 2	85,1	94,4	95,4	91,6 $\pm$ 5,68	
Geladeira T90	Não	KNH 1	66,1	78,3	64,3	69,6 $\pm$ 7,62	35
	Não	KNH 2	28,0	39,2	36,6	34,6 $\pm$ 5,86	
	Sim	KNH 1	53,2	63,3	74,3	63,6 $\pm$ 10,55	-29
	Sim	KNH 2	97,1	95,2	85,4	92,6 $\pm$ 6,28	

Apêndice XXVI – Os valores de dureza Knoop do compósito SR Adoro A2, antes da imersão dos corpos-de-prova em solução de etanol (KNH1); após sua imersão na solução citado por 24 horas (KNH2); sua respectiva média e desvio padrão; e a diferença entre estes (Δ KNH), antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Amostra Envelhecida	KNH1 KNH2	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	Média	Δ KNH
Ambiente T30	Não	KNH 1	37,5	35,8	33,9	35,7 $\pm$ 1,80	16,2
	Não	KNH 2	21,3	18,5	18,8	19,5 $\pm$ 1,54	
	Sim	KNH 1	53,9	47,3	47,3	49,5 $\pm$ 3,81	9,4
	Sim	KNH 2	38,8	41	40,4	40,1 $\pm$ 1,14	
Ambiente T90	Não	KNH 1	43,4	44,4	46,6	44,8 $\pm$ 1,64	14,7
	Não	KNH 2	28,5	32,9	28,8	30,1 $\pm$ 2,46	
	Sim	KNH 1	56,1	52	58,5	55,5 $\pm$ 3,29	7,1
	Sim	KNH 2	54,9	46,1	44,1	48,4 $\pm$ 5,75	
Geladeira T30	Não	KNH 1	39,3	38,5	36,2	38,0 $\pm$ 1,61	14,1
	Não	KNH 2	25,7	22,6	23,3	23,9 $\pm$ 1,63	
	Sim	KNH 1	60,9	59,5	58,6	59,7 $\pm$ 1,16	20,3
	Sim	KNH 2	38,8	41,6	37,7	39,4 $\pm$ 20,1	
Geladeira T90	Não	KNH 1	35,0	36,0	43,3	38,1 $\pm$ 4,53	16,9
	Não	KNH 2	21,8	16,5	25,2	21,2 $\pm$ 4,38	
	Sim	KNH 1	51,2	54,7	46,1	50,7 $\pm$ 4,32	17,4
	Sim	KNH 2	34,8	25,4	39,7	33,3 $\pm$ 7,27	

Apêndice XXVII – Os valores de dureza Knoop do compósito SR Adoro D4, antes da imersão dos corpos-de-prova em solução de etanol (KNH1); após sua imersão na solução citado por 24 horas (KNH2); sua respectiva média e desvio padrão; e a diferença entre estes (Δ KNH), antes e após o procedimento de envelhecimento artificial acelerado, em todos os ambientes e tempo estudado.

Ambiente/Tempo	Amostra Envelhecida	KNH1 KNH2	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	Média	Δ KNH
Ambiente T30	Não	KNH 1	33,2	33,7	34,4	33,8±0,60	7,6
	Não	KNH 2	23,1	28,6	26,9	26,2±2,82	
	Sim	KNH 1	47,9	53,3	62,0	54,4±7,11	13,6
	Sim	KNH 2	41,7	39,5	41,2	40,8±1,15	
Ambiente T90	Não	KNH 1	58,8	58,7	66,6	61,4±4,53	17,1
	Não	KNH 2	44,7	44,7	43,5	44,3±0,69	
	Sim	KNH 1	55,6	61,2	58,9	58,6±2,81	17,3
	Sim	KNH 2	44,5	43,6	35,7	41,3±4,84	
Geladeira T30	Não	KNH 1	53,4	53,5	51,7	52,9±1,01	7,8
	Não	KNH 2	47,3	41,3	46,2	45,1±2,85	
	Sim	KNH 1	58,1	50,2	55	54,4±3,98	6,9
	Sim	KNH 2	51,6	43,7	47,2	47,5±3,96	
Geladeira T90	Não	KNH 1	48,7	53,2	54,3	52,1±2,97	33,4
	Não	KNH 2	19,2	18,5	18,3	18,7±0,47	
	Sim	KNH 1	51,1	50,1	54,8	51,9±2,31	12,6
	Sim	KNH 2	39,2	34,3	44,3	39,3±5,00	