

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE ARARAQUARA

LAURA ELENA HIDALGO DE ANDRADE

**ESTUDO DA DIFUSÃO DE UM CORANTE ORGÂNICO EM
RESINAS COMPOSTAS POLIMERIZADAS POR DUAS
FONTES DE LUZ. AVALIAÇÃO ATRAVÉS DE
ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA.**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", ao Curso de Pós-graduação em Odontologia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Odontologia (Área de concentração: Dentística Restauradora).

Orientador: *Prof. Dr. Osmir Batista de Oliveira Jr.*
Co-orientador: *Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato*

ARARAQUARA

2004

DADOS CURRICULARES**LAURA ELENA HIDALGO DE ANDRADE**

NASCIMENTO	18 / 08 / 70 - SAN SALVADOR EL SALVADOR, AMÉRICA CENTRAL
FILIAÇÃO	Rigoberto Hidalgo Berrios Rosa Elena Garcia de Hidalgo
1989-1996	Curso de Graduação Faculdade de Odontologia da Universidade Evangélica de El Salvador- UEES
2000-2002	Curso de pós-graduação em Dentística Restauradora, nível de Mestrado, na Faculdade de Odontologia de Araraquara- UNESP

A sabedoria é para os homens um tesouro inesgotável;
e os que adquirem preparam-se para se tornar amigos de Deus,
recomendados a Ele pela educação que ela lhes dá.
É ela uma efusão da luz eterna,
um espelho sem mancha da atividade de Deus,
e uma imagem de sua bondade.
Embora única, tudo pode; imutável em si mesma,
renova todas as coisas.
Ela se derrama de geração em geração nas almas santas
e forma os amigos e os intérpretes de Deus,
porque Deus somente ama quem vive com a sabedoria!
Mas, ao lado de vós, está a sabedoria que conhece vossas obras;
Ela estava presente quando fizestes o mundo,
Ela sabe o que vos é agradável, e o que se conforma às vossas ordens.
Fazei-a, pois descer de vosso santo céu,
e enviai-a do trono de vossa glória,
para que, junto de mim, tome parte em meus trabalhos,
e para que eu saiba o que vos agrada.
Com efeito, ela sabe e conhece todas as coisas;
Prudentemente guiará meus passos
e me protegerá no brilho da sua glória.
E quem conhece vossas intenções, se vós não lhe dais a sabedoria,
e se do mais alto dos céus, vós não lhe enviais vosso Espírito Santo?...

Sabedoria 7:14,26 - 28;

9:9 - 11,17.

DEDICATÓRIA

A **Deus Todo-Poderoso**, porque tudo em minha vida é fruto do seu amor e misericórdia. Porque os Seus planos para mim, vão além dos sonhos e desejos do meu coração, e a cada momento da minha vida, posso contemplar a Sua Fidelidade.

A meu amado **Roberto**, obrigado por ser um homem de Deus, por me amar incondicionalmente e partilhar as alegrias e tristezas comigo. Sem dúvida, você é o homem que Deus fez para mim, muito mais do que eu sempre sonhei....Te amo!

Aos meus pais **Rigoberto** e **Rosa Elena**, por seu amor infinito, paciência e apoio. Porque seu exemplo de vida tem me ensinado a lutar com amor e perseverança pelos meus objetivos, e porque apesar da distância, sempre têm estado presentes em todos os momentos da minha vida. Obrigado por tudo, este também é um triunfo de vocês!

As minhas irmãs **Ingrid**, **Claudia** e cunhados **Carlos** e **Joaquín**, por seu carinho e apoio. Aos meus sobrinhos maravilhosos **Carlitos**, **Paolita**, **Adrianita** e **Pablito**, sempre os levo no meu coração.

As minhas avós **Emmita** e **Laura**, que são parte fundamental da minha vida, as amo e espero que Deus as mantenha com saúde por muito mais tempo.

Aos meus sogros **Juanita e Romeo**, por me confiar o seu tesouro, por me amar, respeitar e me ensinar o valor de um filho. Os amo muito.

A toda minha **Família, Tios, Primos e Parentes**, que tem me apoiado com suas orações durante todo este tempo longe. Obrigado.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Aos coordenadores do curso de pós-graduação na área de Dentística Restauradora, **Prof. Dr. José Roberto Cury Saad** e **Prof. Dr. Marcelo Ferrarezi de Andrade** por me permitirem fazer parte do curso.

A meu orientador **Prof. Dr. Osmir Batista de Oliveira Jr.**, por seu apoio incondicional, confiança e amizade. Obrigado por ter me acolhido com alegria e dedicado muitas horas de paciência e ensinamentos. Agradeço a Deus por sua vida.

A meu co-orientador **Prof. Dr. Vanderlei Salvador Bagnato**, por nos abrir as portas do Instituto de Física de São Carlos e nos apoiar e orientar com seus vastos conhecimentos na área de Física. Obrigado pela confiança.

Ao **Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica** e ao **Grupo de Óptica do Instituto de Física de São Carlos / USP**, pelo apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

À **Prof^a Dr^a Rosemary Adriana Chiéríci Marcantonio** pelo apoio e amizade que demonstrou para nós durante todo este tempo, muito obrigada pelo carinho, você é muito especial para nós.

À **CAPES** pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Odontologia da Universidade Evangélica de El Salvador**, pelo apoio e excelente formação.

À Direção da Faculdade de Odontologia de Araraquara, em especial a **Prof. Dr. Ricardo Samih Georges Abí Rached** e **Prof. Dr. Roberto Esberard**, por me abrir as portas desta faculdade.

Aos professores do Departamento de Dentística Restauradora, **Osmir, Salette, Neto, Saad, Marcelo, Sillas, e Welington**, pelos ensinamentos recebidos.

Ao **Prof. Romeu Magnani**, pelo assessoramento estatístico deste trabalho.

Ao **Prof. Augusto César Figueiredo** do Instituto de Física de São Carlos /USP pela amizade, paciência e colaboração direta no desenvolvimento deste trabalho, muito obrigada.

Aos meus colegas de Doutorado **Patrícia, Alessandra, Luana, Emanuel e Tito**, pelos momentos de alegria e trabalho que compartilhamos.

A minha amiga e irmã **Débora**, a tua vida para mim, é um exemplo de valor, decisão e coragem. Obrigada pelo carinho e apoio. Você é um presente de Deus para mim!

Aos membros do Grupo de Óptica do Instituto de Física de São Carlos /USP, **Augusto, Rosane, Cristina, Clovis, Eduardo, Juliana, Vitória, Luciana e Lilian**, pelo carinho, apoio e colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus irmãos e amigos do Grupo de Oração Universitário, **Débora, Patty, Dani, Luciana, Anne, Túlio, Renata e Carol** pelas orações e momentos de alegria que vivemos juntos. Agradeço a Deus pela vida de cada um de vocês.

Aos meus amigos **Marcelo e Jussara**, porque através dos momentos de tanta benção que temos partilhado nos estudos Bíblicos, Deus me ensina o valor incalculável da amizade. Muito obrigado por tudo.

A **Ricardo e Regina**, porque através da alegria e do louvor para Deus, vivemos momento de profunda adoração e regozijo. Vocês são muito especiais.

Aos meus amigos, **Elaine, João Kina, Patrícia, Cris Magnani, Adriana Beloti, Emílio, Cláudia, Robertson e Sabrina**, pela sua amizade, vocês fizeram que o nosso tempo no Brasil fosse cheio de muita alegria!. Que Deus os abençoe abundantemente.

Às funcionárias da pós-graduação desta Faculdade, **Mara, Rosangela, Vera e Silvia**, obrigada por seu apoio.

Aos funcionários da biblioteca, **Maria Helena, Inês, dona Odete, Adriano, Eliane, Silvia e Maria José**, pela colaboração prestada durante todo este tempo.

Aos funcionários do departamento de Dentística Restauradora, **Conceição, Cláudio, Marinho, Vanderlei, Adriana, Cidinha, dona Cida, e Cleusa**, pelo carinho e ajuda.

SUMÁRIO

➤ Introdução.....	12
➤ Revisão da Literatura.....	15
1) Utilização de corantes como métodos de avaliação em dentística restauradora.....	16
2) Fatores que influenciam a polimerização de resinas compostas.....	24
➤ Proposição.....	33
➤ Material e Método.....	35
➤ Resultado.....	63
➤ Discussão	79
➤ Conclusão.....	99
➤ Referências Bibliográficas.....	101
➤ Apêndice.....	106
➤ Resumo.....	113
➤ Abstract.....	115

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a Odontologia moderna vem se beneficiando com o desenvolvimento de aparelhos e novas técnicas para o diagnóstico precoce de algumas patologias, como tumores malignos da mucosa bucal, assim como de outras menos agressivas, mas nem por isso menos importantes, como lesões de cárie incipientes que não permitem o acesso óptico direto.

Isto é possível graças ao estudo do espectro de fluorescência de algumas substâncias ou corpos que possuem esta propriedade física, a qual é conhecida como a capacidade de re-emissão da luz que foi incidida sobre ele, na forma de luminescência.

O uso desta técnica não tem se limitado somente na área de diagnóstico, mas tem sido utilizada na dentística restauradora, para o estudo da distribuição e penetração de sistemas adesivos na estrutura dental e alguns compósitos^{10,25,26}, bem como para a análise de microinfiltração e fendas na interface dente-restauração, com o auxílio de algumas substâncias marcadoras ou corantes, que possuem a propriedade de fluorescência.¹

Corantes como a Rodamina B, Amarelo Lúcer e Fluorescina entre outras, têm sido escolhidos para serem incorporados nos componentes de materiais restauradores, devido a sua facilidade de manipulação e boa solubilidade em substâncias como adesivos, primers e água.

No caso das resinas compostas, acreditamos que esta combinação (corante/resina composta) pode ser de muito valor quanto à verificação da profundidade de polimerização, ao serem processadas com diferentes tempos e

fontes de luz, já que em nossos estudos preliminares, quando amostras de resina composta foram submetidas a imersão em solução de Rodamina 6G a 0,1% em etilenoglicol, observamos difusão do corante exclusivamente nas regiões menos polimerizadas da resina. Isto nos conduz a pensar que há uma relação direta entre a penetração de corante na resina composta e os fatores que influenciam a polimerização da mesma.

Por outro lado, o fato de induzir a penetração de um corante com propriedades de fluorescência nas amostras, pode facilitar a observação das mesmas sob microscopia óptica, quando excitadas com comprimentos de onda corretos. Isto pode permitir uma análise mais objetiva da região pigmentada, bem como uma avaliação quantitativa da profundidade de penetração do corante na resina através do estudo da fluorescência.

Portanto, consideramos que o estudo da difusão de corantes no interior da massa de compósitos, se torna necessário para fornecer subsídios sobre o potencial de utilização destas substâncias, como método cientificamente viável para a análise da profundidade de cura de resinas compostas, bem como da capacidade de polimerização de diferentes fontes de luz.

REVISÃO DA LITERATURA

REVISÃO DA LITERATURA

Para melhor entendimento do assunto, dividiremos a revisão de literatura em duas partes, a saber: 1) Utilização de corantes como métodos de avaliação em dentística restauradora; 2) fatores que influenciam a profundidade de polimerização de resinas compostas.

1) UTILIZAÇÃO DE CORANTES COMO MÉTODOS DE AVALIAÇÃO EM DENTÍSTICA RESTAURADORA.

Em 1966, com o propósito de determinar o uso de alguns corantes para evidenciar a microinfiltração, Christen e Mitchel³, utilizaram incisivos mandibulares inferiores extraídos, nos quais foram realizados preparos cavitários de 1,5 mm de profundidade em dentina. Os 87 preparos cavitários foram divididos em 4 grupos experimentais: G1 amálgama; G2 amálgama + verniz cavitário; G3 gutapercha e G4 cimento de óxido de zinco e eugenol. Após 24 horas de armazenamento em solução salina a 37°C, foi realizado o polimento dos amálgamas e todos os grupos foram divididos em 2 subgrupos a fim de imergi-los em 2 corantes fluorescentes: solução aquosa de fluorescina a 2% por 5 ou 12 minutos, e rodamina B a 0,1% durante 1 hora. Após o tempo de imersão, as amostras foram cortadas longitudinalmente para se obter fatias de 1 mm de espessura da região central das amostras para serem avaliadas sob microscópio de fluorescência de alta intensidade. Os resultados mostraram que a fluorescina foi melhor do que a rodamina B, já que a fluorescência foi mais brilhante, não houve saturação e pôde ser detectada em menores quantidades. Por outro lado, quando a fluorescina foi misturada com o eugenol ou o

pó de óxido de zinco separadamente, toda a fluorescência do corante desapareceu. A rodamina B perdeu a sua propriedade de fluorescência ao ser exposto a estes materiais, porém, manteve a sua cor vermelha, mostrando a microinfiltração como um corante orgânico comum.

Gee, et al.⁸ em 1984, avaliaram fatores que influenciam o grau de polimerização de resinas quimicamente e fotoativadas, através da imersão das amostras em solução de corante Astra Blue (Bayer). Para isto, com auxílio de uma matriz metálica, foram confeccionados corpos de prova de 5x5 mm, sendo algumas com um único incremento e outras com 2. As resinas quimicamente ativadas levaram 10 minutos para sua polimerização e as fotoativadas foram irradiadas com luz visível por 20 ou 40 segundos. Posteriormente, as amostras foram fraturadas por tensão em direção axial, obtendo-se duas metades, as quais foram expostas por menos de 2 minutos em solução de corante Astra Blue em metanol diluído em 20 partes de água, e imediatamente lavadas em água corrente. As superfícies internas das amostras foram avaliadas por estereomicroscopia para determinar as regiões polimerizadas de forma incompleta. Os resultados mostraram que a polimerização de resinas de micropartícula foi menor que das híbridas. Além disso, houve penetração do corante na interface de partícula/matriz de algumas resinas microparticuladas. Quanto às resinas quimicamente polimerizadas, foi evidente a presença de corante nos lugares onde a resina (pasta/pasta) não foi bem misturada. Os autores concluíram que a técnica de pigmentação com Astra Blue, permite observar a polimerização incompleta de resinas dentais. Embora a natureza da união entre o corante e os grupos sem reagir do BIS-GMA e TEGDMA da matriz de

resina não foi estudada, os autores acreditam que houve uma forte ligação entre as suas moléculas já que a presença do corante persistiu mesmo após as amostras terem sido lavadas com água.

Watson²⁶ em 1989, avaliou a interface de união entre o sistema adesivo Scotchbond 2 (3M) e dentina humana, e a sua distribuição dentro do dente e sob a restauração de resina composta (P50 / 3M). Para isso, utilizaram terceiros molares recém extraídos, onde realizaram cavidades de 3 x 4 mm, na união cimento esmalte das superfícies lisas. Prévio à confecção das restaurações de acordo as indicações do fabricante, coraram dois sistemas adesivos (Scotchbond 2 / 3M); um com rodamina B e o outro com Fluorescina, para serem utilizados durante o preparo das amostras. Após 12 horas de armazenamento, os corpos de prova foram cortados longitudinalmente no centro das restaurações e avaliados com auxílio do microscópio de varredura por luz refletida (Tandem Scanning Reflected Light Microscope -TSM), utilizando filtros de 600 nm, a fim de evitar a interferência da reflexão de luz de outros tecidos e só observar a fluorescência dos corantes. Os resultados mostraram claramente a distribuição do Scotchbond 2 e a sua penetração na smear layer e dentina a uma profundidade maior de 50 µm.

Em 1991, Watson et. al.²⁷, avaliaram a interação dinâmica entre tecidos dentais e cimento de ionômero de vidro (OpusFil), incorporando corantes fluorescentes (Rodamina B ou Fluorescina) nos componentes do cimento. As restaurações eram confeccionadas em cavidades de 4 x 3 mm, localizadas na junção cimento-esmalte de dentes extraídos, num tempo máximo de 30 min a 1 hora após a extração. Depois de 2, 24, 48 ou 72 horas de armazenamento, os

dentens eram cortados longitudinalmente no centro da restauração e examinados sob microscópio de varredura por luz refletida (Tandem Scanning Reflected Light Microscope -TSM). A presença de corante proveniente da restauração dentro da dentina subjacente (especialmente na parede pulpar da cavidade), mostrou que houve uma movimentação de fluidos através da interface dente/restauração, durante a maturação da matriz de ionômero, especialmente no tempo pós-operatório de 24 horas. Segundo os autores, este método é eficiente para a monitoração da interação de fluidos na interface de adesão.

Com o propósito de estudar a interface entre dentina, sistema adesivo (Scotchbond Multi-purpose/ 3M) e resina composta (Z100/ 3M), Griffiths e Watson⁹ em 1995, incorporaram corantes nos componentes do sistema adesivo (Primer: rodamina B; Adesivo: fluorescina), e avaliaram as restaurações através de microscopia óptica confocal. Os resultados mostraram que a camada de primer apresentou-se descontínua devido à aplicação do adesivo com "microbrush" e, em algumas regiões, o primer foi incorporado dentro do adesivo. Por outro lado, a aplicação de um fino jato de ar aumentou a penetração do primer e adesivo dentro dos túbulos dentinários, mas também aumentou a espessura da camada de adesivo dentro das irregularidades da superfície da cavidade e nas linhas de ângulo. Os autores salientam que estes detalhes só foram observados graças à utilização dos corantes em combinação com o microscópio confocal.

Zandoná et al.³² em 1997, se propuseram a investigar *in vitro* o efeito de alguns corantes utilizados na detecção de cárie, sobre materiais restauradores. Para isso confeccionaram amostras de resina composta, ionômero de vidro modificado

por resina, ionômero de vidro convencional e porcelana, e as submeteram a imersão nos seguintes corantes: 0,01M ou 0,0015M de Pirometano 556 por 30 e 60 seg. respectivamente, e lavadas posteriormente com etanol a 25%; ou 0,0018M de Fluorescina de sódio durante 60 seg. e lavadas com água corrente. Posteriormente, todas as amostras foram analisadas quanto às mudanças de cor, nos intervalos de 0, 1, 4, 24 e 48 horas após de armazenamento em água corrente. Além disso, nos mesmos intervalos de tempo, imagens foram captadas com auxílio de uma câmara CCD e um filtro de 520 nm, quando os corpos de prova foram excitados com laser de argônio, para serem analisadas por fluorescência, utilizando métodos computadorizados (Cálculo da média do nível cinza e Histogramas). Os resultados da mudança de cor mostraram que houve diferença estatisticamente significativa (ANOVA $p < 0,05$) em ambos ionômeros de vidro, imediatamente após a imersão no corante. Contudo, esse efeito foi revertido após 1 hora de armazenamento em água. Da mesma forma, a intensidade de fluorescência foi inversamente proporcional ao tempo de armazenamento em água. Os autores concluem que a exposição de materiais restauradores a esses corantes, não deixam mudanças prolongadas de cor visualmente detectáveis.

Pioch et al.²⁰ em 1997, através de microscopia de varredura com laser confocal, realizaram uma série de análises entre as quais estavam: união e penetração de resina na dentina e esmalte, medição da espessura da camada híbrida, microinfiltração e união de cerâmicas no esmalte. No caso da avaliação interface dente/resina, utilizaram o isotiocianato de rodamina B a 0,1% para a incorporação do corante nos sistemas adesivos utilizados para esta etapa:

Optibond, Scotchbond MP, Syntac, Gluma CPS, Superbond C&B, Prime & Bond 2.1, Prisma Universal Bond 3. Para medir a camada híbrida utilizaram os sistemas Gluma CPS e Syntac, onde somente o primer foi pigmentado com rodamina B, e variando os tempos de condicionamento ácido em 15, 30, 60 e 120 segundos. Por outro lado para avaliar a microinfiltração, 8 dentes que tinham sido preparados com os sistemas Gluma CPS, Syntac, Optibond e Prime & Bond, onde só o adesivo tinha sido pigmentado, foram imersos por 24 horas em uma das seguintes soluções: 1) 0,1% de rodamina B em 50% de álcool; 2) 0.1% isotiocianato de fluorescina em água destilada; 3) 0.1% de acriflavina em água destilada. No caso da avaliação da união de cerâmicas ao esmalte (10 Cerec e 6 Empress), realizaram restaurações inlay e numa metade das amostras foi corado com rodamina B o silano, e na outra o adesivo. Em todos os casos, logo após realizaram as restaurações em dente extraídos, incluíram os dentes em blocos de resina e os cortaram em direção longitudinal para serem avaliados no microscópio. Os resultados mostraram que a espessura da camada híbrida aumentou em função do aumento de tempo de condicionamento ácido; houve clara evidência de tags de resina em todas as amostras, exceto quando utilizado o sistema Superbond C&B. A microinfiltração com rodamina B foi observada em alguns casos na base da camada híbrida, e na maioria entre o adesivo e a resina composta, já no caso da fluorescina, o corante penetrou na dentina mas não na resina, e o acriflavina penetrou na dentina e na resina composta mas não na camada híbrida. Quanto à união de cerâmicas, a zona de penetração foi encontrada de acordo ao padrão de condicionamento respectivo. Os autores concluem que a utilização desta técnica de análise (corante+microscopia

confocal), fornece informações valiosas que não são conseguidas com outros métodos de avaliação.

Em 1999, Griffiths et al.¹⁰ avaliaram a morfologia e micropermeabilidade da interface dente/adesivo, utilizando os sistemas Optibond, Clearfill Liner Bond 2 e Pertac Universal Bond. Foram realizadas restaurações proximais em terceiros molares recém extraídos, onde o primer dos sistemas era corado com amarelo lucifer, e o adesivo com rodamina B. Posteriormente, na cavidade pulpar era injetada com mínima pressão, solução salina pigmentada com rodamina B (0,5g em 50 ml) por período de 3 horas, e posteriormente lavada com água corrente, a fim de avaliar a micropermeabilidade do sistema adesivo para os fluidos pulpaes. As amostras foram cortadas em direção longitudinal e avaliadas sob o microscópio de laser confocal, com excitação de 546 nm e filtro de 600 nm. As imagens revelaram uma boa penetração de todos os sistemas adesivos nos túbulos dentinários, túbulos laterais e na superfície da dentina intertubular condicionada, exceto quando utilizado o sistema Pertac Universal Bond. A micropermeabilidade dos fluidos pulpaes foi mais evidente no sistema Pertac Universal Bond mostrando quase 100% de permeabilidade ao longo da smear layer, sendo o sistema Clearfill Liner Bond 2 o que melhor selou as restaurações 33%, seguido do sistema Optibond com 6%.

Mannocci et al,¹⁷ em 2001, avaliaram através do microscópio confocal, a microinfiltração de pré-molares tratados endodônticamente e restaurados com pinos de fibra de carbono e resina composta, utilizando 3 sistemas adesivos. Os dentes foram divididos em 6 grupos de 12 cada, onde 3 grupos foram tratados com selantes endodônticos contendo óxido de zinco e eugenol (ZOE) e restaurados com

material temporário contendo ZOE. Os grupos restantes foram selados com materiais livres de ZOE. O primeiro grupo dos tratados com materiais com ZOE, foi restaurado com pinos de fibra cimentados com fosfato de zinco e núcleos de resina sem adesivo. Nos outros dois grupos os pinos foram cimentados com sistemas adesivos All Bond 2 e Panavia 21, respectivamente. Os 3 grupos restantes, os pinos foram cimentados com os sistemas All Bond 2, Panavai 21 e Panavia Fluoro cement, respectivamente. As amostras foram submetidas a 300,000 ciclos de carga de 125 N, e logo imersos em solução de rodamina B (2.09×10^{-5} mmol/L⁻¹ em água deionizada) por 48 horas. As imagens mostraram que os grupos com pinos cimentados com sistemas adesivos tiveram microinfiltração significativamente menor do que os cimentados com fosfato de zinco. Por outro lado, não houve diferença significativa entre os dentes tratados com materiais a base de ZOE ou sem ele. Os autores concluíram que o sistema All Bond 2 resultou no melhor selador marginal do que os cimentos auto-condicionantes Panavia 21 e Panavia F.

2) FATORES QUE INFLUÊNCIAM A POLIMERIZAÇÃO DE RESINAS

Ruyter & Øysæd²³ em 1982, estudaram fatores como: intensidade da fonte de luz, conteúdo e tamanho de partículas na resina composta, translucidez, índices de refração da matriz e das partículas inorgânicas e o grau de conversão de resinas compostas, em diferentes profundidades, polimerizadas com luz ultravioleta e visível. Esta pesquisa revelou que há uma influência direta destes fatores na profundidade de polimerização, já que depende da composição das partículas de carga da resina composta, da fonte de luz e do tempo de exposição à mesma, sendo que a luz visível produziu maior profundidade de polimerização do que a luz ultravioleta. Por outro lado, as resinas com partículas de carga inorgânica de tamanho convencional obtiveram os maiores valores de profundidade de polimerização quando comparadas às de micropartículas, devido a que estas últimas, provocam uma maior dispersão de luz.

Swartz, et al.²⁴ em 1983, avaliaram através da microdureza Knoop, o grau de polimerização de resinas compostas fotopolimerizáveis, observando a influência da cor, tempo de exposição à luz, distância da luz na superfície da resina e a qualidade de polimerização através do esmalte. Para isso, realizaram amostras de 7 mm de diâmetro e com espessuras de 1, 2 e 3 mm, polimerizadas por 20 e 40 segundos, e com várias distâncias da ponta do aparelho à superfície da resina, com auxílio de espaçadores em forma de anéis. As medições foram realizadas após 24 horas e 7 dias de armazenamento. Na outra parte da pesquisa, foram utilizadas superfícies linguais de incisivos centrais superiores extraídos, somente em esmalte, a fim de polimerizar a resina através do mesmo. Após 24 horas de armazenamento, as

amostras foram cortadas de forma longitudinal e medidas quanto a dureza. Os resultados mostraram que o grau de polimerização varia com a cor das mesmas, sendo que para as cores mais escuras, foi necessário aumentar o tempo de exposição de 20 para 40 segundos, para alcançar valores aceitáveis de dureza. Além disso, pode-se observar que o grau de polimerização diminui à medida que aumenta a distância desde a superfície em direção ao interior da resina. Por outro lado, existe a tendência da polimerização diminuir quando a ponta do aparelho não é colocada diretamente em contato com a resina. Do mesmo modo, existe uma grande chance de que a polimerização seja incompleta quando a resina é polimerizada através do esmalte dental.

Em 1994, Kawaguchi, et al.¹³ avaliaram o coeficiente de transmissão de luz de 8 resinas compostas ativadas por luz visível, de diferentes cores e diferentes tipos de partículas de carga. Além disso, foi analisada também a relação entre o coeficiente de transmissão de luz e a profundidade de polimerização das resinas compostas. Para isto, mediram a profundidade de polimerização de amostras de 4x10 mm, polimerizadas por 30 segundos, através da técnica de raspagem (eliminação com espátula da resina não polimerizada). O coeficiente de transmissão foi calculado através da equação de Beer-Lambert: $\text{Log}(I/I_0) = tc^l$, onde I e I_0 são as intensidades da luz incidente e transmitida, e l é a espessura da amostra. Os resultados mostraram que houve uma correlação significativa entre o coeficiente de transmissão e a profundidade de polimerização das resinas estudadas. Além disso, os autores encontraram que o coeficiente de transmissão (de 0,263 a 0,042) foi dependente do matiz das resinas compostas. Da mesma maneira, foi evidente que

as resinas de micropartícula tiveram o menor coeficiente de transmissão e a menor profundidade de polimerização quando comparadas com as de partículas pequenas e híbridas.

No mesmo ano, Rueggeber, et al.²², avaliaram o efeito da intensidade da luz e o tempo de exposição na polimerização de resinas compostas. Utilizaram resina de micropartículas e híbridas nas cores universal e cinza. Confeccionaram amostras simulando uma restauração cilíndrica, onde podiam remover fatias finas nas distâncias de 1, 2, e 3 mm abaixo da superfície, para serem analisadas quanto ao grau de conversão através de microscopia infravermelha, após 24 horas de armazenamento. As amostras foram irradiadas com várias intensidades a partir de 800 mW/cm² (100% de intensidade) diminuindo para 578 mW/cm² (72.3%); 400 mW/cm² (50,2%) e 233 mW/cm² (29.2%), nos tempos de 20, 40, 60 e 80 segundos. Os resultados revelaram que em profundidades maiores de 2 mm houve pouca polimerização e ela foi muito susceptível a mudanças na intensidade de luz e tempo de exposição. Os autores recomendam exposições de 60 segundos, utilizando intensidade de no mínimo 400 mW/cm², além disso, indicam que incrementos maiores de 2 mm não devem ser realizados, sendo o ideal 1 mm de espessura, e intensidades de 233 mW/cm² não devem ser utilizados já que eles produzem pouca polimerização.

Fujibayashi, et al.⁶ em 1998, avaliaram as características ópticas de 2 aparelhos fotopolimerizadores a base de 61 Leds e 1 de lâmpada halógena, bem como a profundidade de polimerização e grau de conversão de resinas compostas processadas com os mesmos. Utilizando resina composta Silux plus (3M) na cor XL,

e com auxílio de uma matriz de teflon de 4x8 mm, foram confeccionados 5 corpos de prova, polimerizados por tempos de 10, 20, 40, 60 e 80 segundos. Os aparelhos foram ajustados para emitir intensidade de 1000 W/m^2 . Após a exposição, a parte não polimerizada foi eliminada com uma espátula plástica e bolinhas de algodão, e medida a profundidade de polimerização com auxílio de um micrómetro. Os resultados mostraram que os picos máximos de intensidade dos aparelhos avaliados tiveram sua localização em diferentes comprimentos de onda: LED 1/ 444 nm; LED 2/ 466 nm e Halógena/ 484 nm. A profundidade de polimerização e grau de conversão das resinas com o aparelho LED 2, foi significativamente maior do que com a lâmpada halógena ou LED 1. Os autores sugerem que a irradiação com LEDs azuis é efetiva na polimerização de resinas compostas, e pode ser utilizada como fonte de polimerização.

Mills, et al.¹⁸ em 1999, tiveram como objetivo avaliar a profundidade de polimerização de duas cores (A2 e A4) de resinas compostas (Spectrum TPH), polimerizadas por 40 segundos, com dois aparelhos: protótipo com 27 LEDs azuis (350 mW/cm^2) e lâmpada halógena (755 mW/cm^2). Para isso, confeccionaram dez amostras de 4x8 mm para cada situação, e avaliaram a profundidade de polimerização através da técnica do penetrômetro, sendo que para ambas cores a lâmpada halógena teve valores significativamente maiores ($p=0,00$) quando comparado com o LED, no entanto, ambos aparelhos excederam a profundidade requerida para situações clínicas de 2 mm. O protótipo LED alcançou acima do 80% da profundidade de polimerização da lâmpada halógena com ambas cores.

No mesmo ano, Mills, et al.¹⁹ através do método do penetrômetro, avaliaram a profundidade de polimerização de 3 resinas compostas (Silux Plus, P50 e Z100/3M) processadas com 2 aparelhos: Lâmpada Halógena (Coltolux 4) com 300 mW/cm² e diâmetro da ponta de 8 mm; ou lâmpada LED com 25 leds, 388 mW/cm² e diâmetro da ponta de 6 mm. Com auxílio de uma matriz metálica de 4 mm de diâmetro e 6 mm de profundidade, foram confeccionados 6 corpos de prova para cada situação, utilizando tempos de 40 e 60 segundos. Para cada resina, a profundidade de polimerização foi significativamente maior ($p < 0,05$) para o sistema LED do que a Halógena, aproximadamente 0,2 mm. Por outro lado a resina híbrida Z100, apresentou maiores valores quando comparadas as outras duas (em torno de 1,5 mm). Os autores concluem que o sistema LED com 64% da irradiação da Lâmpada Halógena, alcançou profundidade de polimerização significativamente maior, o que torna este sistema promissor para uso clínico.

Yap,²⁹ em 2000, avaliou através de dureza Knoop, a efetividade de polimerização de restaurações de resina composta (Ariston pHc, Surefill) com várias profundidades (2-4 mm), após irradiação com lâmpada halógena (Spectrum curing light / $421,33 \pm 1,5$ mW/cm²) por tempos de 40 a 120 segundos. Os resultados mostraram que a efetividade de polimerização diminui significativamente com o aumento da profundidade da cavidade, independente do tempo de exposição. Contudo, em cavidades de 3 e 4 mm de profundidade, houve um aumento da polimerização quando irradiadas por 120 segundos. Os autores sugerem que os incrementos de resina não devem ultrapassar dos 2 mm, para conseguir uma polimerização uniforme.

No mesmo ano, Jandt et al.¹², estudaram a profundidade de polimerização de resinas compostas (Spectrum TPH, nas cores A2 e A4), polimerizadas com duas fontes de luz (Halógena 755 mW/cm² e LED 350 mW/cm² - 27 leds). Para isso, realizaram 10 corpos de prova de 4 mm de diâmetro e 8 mm de profundidade, e avaliaram através da técnica do penetrômetro. Além disso, verificaram a resistência à compressão das resinas após 6 e 72 horas de armazenamento, confeccionando 6 amostras de 4x6 mm, polimerizadas por 40 segundos com os mesmos aparelhos. Os resultados mostraram que a polimerização com Lâmpada Halógena (A2/ 6,40 mm; A4/ 5,19 mm) foi significativamente maior ($p < 0,05$) do que as polimerizadas com o LED (A2/ 5,33 mm; A4/ 4,27 mm), embora ambos resultados estejam dentro dos parâmetros exigidos pela norma ISO 4049. Por outro lado, não houve diferença significativa na resistência à compressão entre as amostras armazenadas por 6 e 72 horas e de diferentes cores. Os autores atribuem estes menores resultados com o LED, devido à menor intensidade de irradiação oferecida pelo aparelho, embora o espectro emitido seja mais estreito do que a Halógena.

Com o objetivo de avaliar a influência entre a densidade de energia vrs. o tempo de irradiação, na efetividade de polimerização de resinas compostas, Yap e Seneviratne³⁰ em 2001, realizaram amostras de resina de 2x4 mm polimerizadas com lâmpada halógena, e as analisaram por meio do teste de microdureza Knoop. As densidades de energia utilizadas foram: 200, 300, 400, 500 e 600 mW/cm², variando os tempos de irradiação em 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 180 segundos. As amostras controle foram irradiadas com 400 mW/cm², por 40 segundos. Os resultados mostraram uma adequada dureza na superfície de topo

das amostras, quando irradiadas com intensidades de 200 ou 300 mW/cm², por 20 segundos. Já a superfície de base só alcançou valores aceitáveis após 120 seg de irradiação com 300 mW/cm². Contudo, na superfície de base pode-se alcançar uma melhor polimerização com tempo de 30 e 20 segundos, aumentando a intensidade para 500 e 600 mW/cm², respectivamente.

Leonard, et al.¹⁵, em 2001, determinaram a densidade de energia e tempo de irradiação mínimo necessário, para adequada polimerização de amostras de resina composta de micropartícula (Silux Plus) e híbrida (Z100), com espessura de 2 mm. Utilizaram um aparelho de luz halógena (Optilux 401), acoplado a um alternador de potência para variar as intensidades de 100 a 700 mW/cm², em incrementos de 25 mW/cm², combinando o tempo de irradiação de 40 e 60 segundos. Após 24 horas de armazenamento, foi medida a dureza Knoop na superfície de topo e na base das amostras, onde valores até um mínimo de 80% eram aceitos para indicar uma polimerização satisfatória. Os resultados mostraram que para a resina híbrida foram necessários 260,1 mW/cm² por 40 segundos ou 185 mW/cm² por 60 segundos, para alcançar polimerização satisfatória. No caso da resina de micropartícula, foram necessários 542,9 mW/cm² por 40 segundos ou 449 mW/cm² por 60 segundos, indicando que para uma adequada polimerização destas resinas, são necessárias maiores densidades de energia pelo mesmo tempo, quando comparadas com as resinas híbridas.

No mesmo ano, Kurachi, et al.¹⁴, realizaram uma comparação da eficiência de polimerização de duas fontes de luz: halógena e protótipo LEDs, avaliando resinas compostas através de microdureza Vickers. Para isso, confeccionaram 5

amostras para cada situação, com resina híbrida Z100 (3M) na cor A3, com espessuras de 0,35, 1,25 e 1,8 mm e polimerizadas com o LEDs por tempos de 20, 40, 60, 120 e 180 segundos, e com halógena por 40 segundos. A densidade de energia utilizada para a lâmpada halógena foi de 475 mW/cm^2 , e para o LEDs houve variação da densidade e da quantidade de LEDs: 25 mW/cm^2 (2 LEDs), 34 mW/cm^2 (3 LEDs), 46 mW/cm^2 (4 LEDs), 68 mW/cm^2 (5 LEDs) e 79 mW/cm^2 (6 LEDs). Os resultados mostraram valores inferiores de microdureza para as amostras polimerizadas com LED do que com halógena, independente ao número de LEDs ou densidade de energia. Contudo, para o sistema com 6 LEDs, foi necessária uma exposição de tempo maior (100 segundos), ou menor espessura das mostras para alcançar valores razoáveis de microdureza, devido à sua intensidade reduzida quando comparado com a lâmpada halógena.

Em 2002, Dunn e Bush,⁵ compararam a polimerização de resinas compostas híbridas (Z250) e micropartículas (Renamel), polimerizadas com 4 fontes de luz: 2 a base de lâmpada halógena Optiluz 400 (900 mW/cm^2) e Optilux 501 (1030 mW/cm^2); e 2 a base de 7 LEDs: Luma Cure (150 mW/cm^2) e Versalux (150 mW/cm^2). Para isso, confeccionaram amostras de $2,1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ de espessura, polimerizadas por 40 segundos. Após 24 horas de armazenamento, as amostras foram submetidas a avaliação da microdureza Knoop, nas superfícies de topo e base a fim de verificar a porcentagem de polimerização ($\text{KH base/ KH topo} \times 100$). Os resultados mostraram que independente da fonte de luz, os valores de dureza da resina híbrida eram significativamente maiores do que os da micropartícula ($p < 0.0001$). Por outro lado, o efeito das duas lâmpadas halógena foi

significativamente maior do que com os aparelhos LEDs, independente do tipo de resina.

PROPOSIÇÃO

PROPOSIÇÃO

Neste trabalho nos propomos a avaliar, por meio de Espectroscopia de Fluorescência, a difusão de um corante orgânico em resinas compostas, em função dos seguintes fatores: 1) Tipo de resina, 2) Fonte de Luz, 3) Tempo de polimerização e 4) Tempo de imersão no corante; a fim de testar a hipótese segundo a qual estes fatores influenciam diretamente no coeficiente de difusão do corante na massa de resina composta.

MATERIAL E MÉTODO

MATERIAL E MÉTODO

MATERIAIS E APARELHOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizamos três tipos de resinas compostas fotopolimerizáveis de uso freqüente no consultório:

1) Resina de Micropartícula FilteK A110 (3M[®]), cuja matriz orgânica é formada por BIS-GMA e TEGDMA, possui 40% em volume de carga de partículas de sílica de tamanho aproximado de 0,04µm, (Lot: 2BP 2005-03);

2) Resina Híbrida Z100 (3M[®]) com matriz orgânica à base de BIS-GMA e TEGDMA, com volume de carga de 71% de partículas de zircônio/sílica, (LOT: 2CR 2005-11) e

3) Resina Compactável FilteK P60 (3M[®]) com matriz orgânica de BIS-EMA, BIS-GMA e UDMA, com volume de carga de 61% de partículas de zircônio/sílica, (LOT: 3PW 2006-02); todas de cor A3.

Para o procedimento de polimerização das resinas compostas foram utilizadas duas fontes de luz:

Halógena - Aparelho Optilight Digital -Gnatus (Figura 1), o qual apresenta uma ponta com diâmetro de 1,0 cm, potência de 444 mW, intensidade de luz de 565 mW/cm² e comprimento de onda de 377 a 561 nm, com pico máximo de emissão nos 499 nm.

Sistema LEDs - Aparelho LEC 470 II -M & M Optics, São Carlos (Figura 2), o qual apresenta ponta com diâmetro de 0,8 cm, potência de 88 mW, intensidade de luz de 175 mW/cm² e comprimento de onda entre 414 e 532 nm, com pico máximo de emissão nos 468 nm.



FIGURA 1. **Halógena** - Aparelho Optilight Digital (Gnatus).



FIGURA 2. **Sistema LEDs** -Aparelho LEC 470 II (M & M Optics, São Carlos).

Foram realizados 2 grupos experimentais de acordo com a fonte de luz: grupo "**H**" -Halógena e grupo "**L**" - Sistema LEDs. Cada grupo foi dividido em 3 subgrupos de acordo a resina composta utilizada: **1** (micropartícula); **2** (híbrida) e **3** (compactável), onde cada subgrupo por sua vez teve dois tempos de polimerização: **40 e 60 segundos**; e três tempos de imersão em solução de Rodamina 6G a 0,1% em etilenoglicol: **0** (controle), **24 e 48 horas**, como descrito no quadro 1.

Em função dos resultados do experimento piloto, determinou-se que seriam necessárias 5 repetições para cada condição estudada, com exceção do tempo de imersão de 0 horas (controle), o qual possui somente 1 corpo de prova, totalizando um número de 132 amostras.

CONFECCÃO DAS AMOSTRAS

Com auxílio de uma matriz metálica bipartida, foram confeccionados os corpos de prova de 4 mm de diâmetro e 4 mm de espessura. Esta era preenchida com resina composta em um único incremento, condensando-a com ajuda de uma espátula metálica (Hu-Friedy® CIGFT1BR) e com volume suficiente para permitir um ligeiro excesso do material. A seguir, foi colocada uma tira de poliéster e uma lâmina de vidro de 1 mm sobre a superfície de topo do corpo de prova, exercendo uma leve pressão, com o intuito de deixar uma superfície lisa após a polimerização da mesma (Figura 3).

QUADRO 1. Grupos e subgrupos experimentais utilizados.

Fonte de Luz (grupos)	Tipos de resina (subgrupos)	Tempo de polimerização	Tempo de imersão (horas)	Corpos de prova
H (Halógena)	1 (Resina Micropartícula)	40 segundos	0	1
			24	5
			48	5
		60 segundos	0	1
			24	5
			48	5
	2 (Resina Híbrida)	40 segundos	0	1
			24	5
			48	5
		60 segundos	0	1
			24	5
			48	5
	3 (Resina Compactável)	40 segundos	0	1
			24	5
			48	5
		60 segundos	0	1
			24	5
			48	5
L (Sistema LEDs)	1 (Resina Micropartícula)	40 segundos	0	1
			24	5
			48	5
		60 segundos	0	1
			24	5
			48	5
	2 (Resina Híbrida)	40 segundos	0	1
			24	5
			48	5
		60 segundos	0	1
			24	5
			48	5
	3 (Resina Compactável)	40 segundos	0	1
			24	5
			48	5
		60 segundos	0	1
			24	5
			48	5

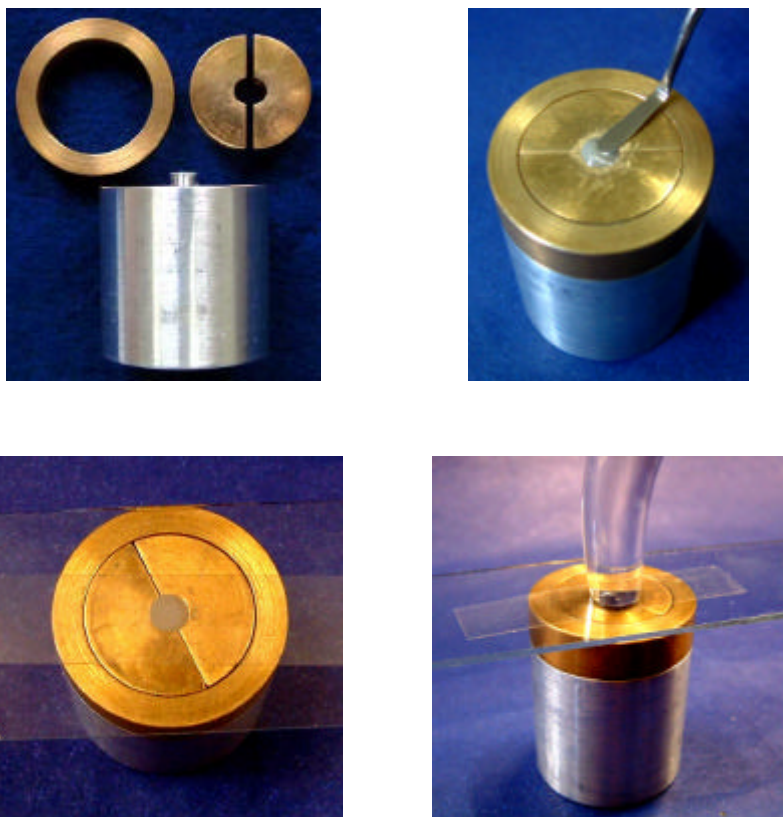


FIGURA 3. Matriz metálica bipartida utilizada para confecção dos corpos de prova de resina composta.

Durante a fotopolimerização das amostras, a ponta dos aparelhos esteve em contato direto com a lâmina de vidro, para menor perda de intensidade de luz.

Imediatamente após a confecção dos corpos de prova, foi realizada a imersão dos mesmos de forma individual em 1,5 ml de solução de rodamina 6G a 0,1% em etilenoglicol, em tubos de ependorf (Figura 4), protegidos da luz e a temperatura ambiente, pelos tempos estabelecidos.



FIGURA 4. Tubos de ependorf para imersão das amostras em 1,5 ml de solução de rodamina 6G a 0,1% em etilenoglicol.

Após completar os tempos de imersão, cada amostra foi lavada por 1 minuto em água corrente e seca com jato de ar (seringa tríplice) pelo mesmo período de tempo.

Em seguida, com ajuda de godiva de baixa fusão, cada corpo de prova foi preso individualmente em blocos de madeira, e com auxílio de uma máquina de corte ISOMET® 1000 e disco diamantado de 0,3 mm de espessura, a 300 rotações por minuto, foram cortadas de forma longitudinal, a fim de obter uma fatia de 1,5 mm de espessura (Figura 5), a qual seria utilizada para analisar o coeficiente de difusão do corante na resina composta.

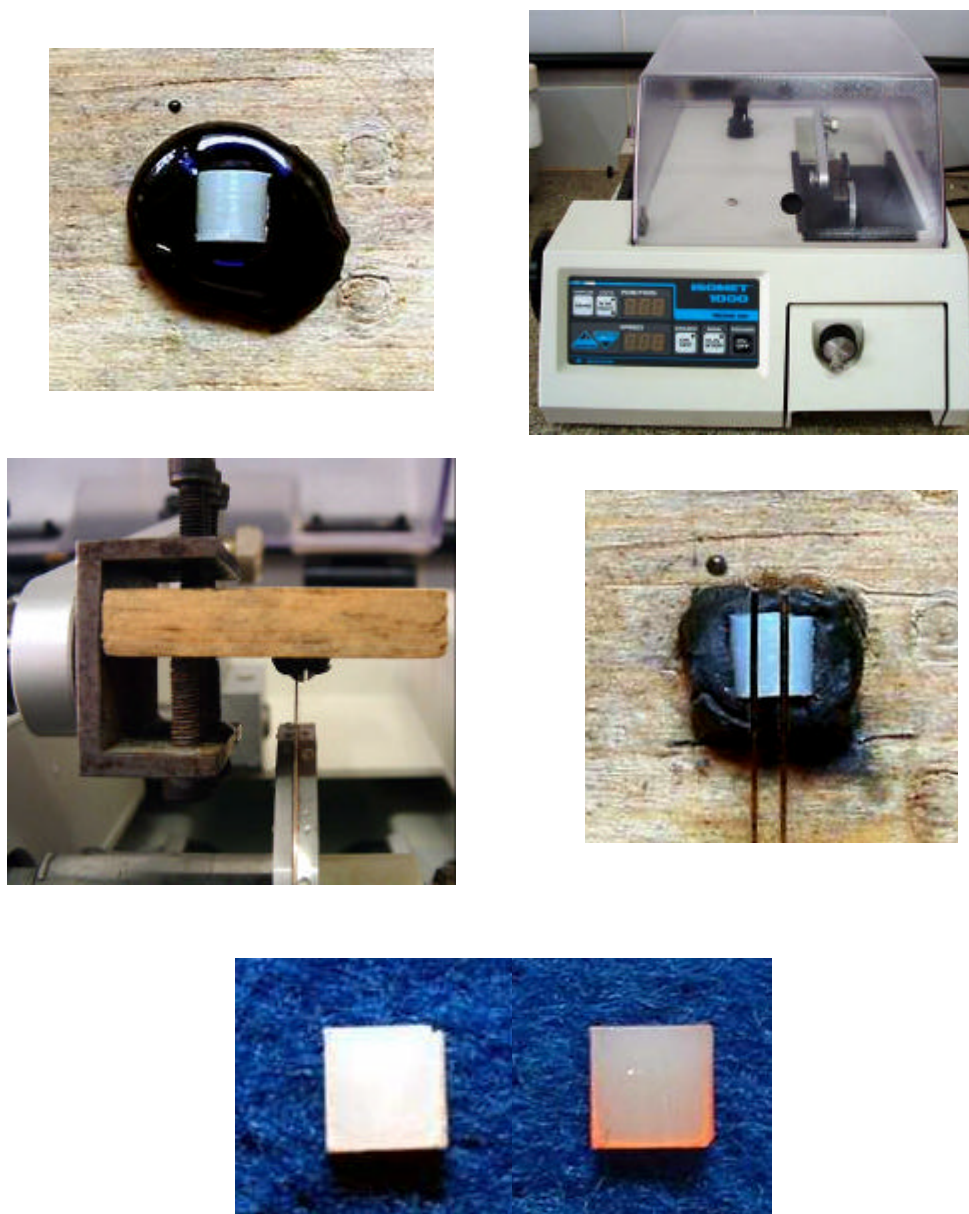


FIGURA 5. Obtenção de uma fatia de cada corpo de prova para análise da difusão do corante na resina composta.

ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Quando se fala de fluorescência, é necessário ressaltar que segundo análises físicas, o olho humano consegue perceber aproximadamente 30% ($\pm 10\%$) da fluorescência real das substâncias ou corpos com esta propriedade.

Levando em consideração que neste trabalho seria estudada a difusão do corante no interior de resinas compostas, por meio de uma análise óptica do perfil espacial de fluorescência das amostras, consideramos apropriado realizar o cálculo da porcentagem da percepção visual de fluorescência do operador, para que com esse resultado, pudéssemos obter uma fórmula matemática adequada para a obtenção do coeficiente de difusão de rodamina 6G em resina composta.

CÁLCULO DA PORCENTAGEM DE PERCEPCÃO VISUAL À FLUORESCÊNCIA

Para isso, foi necessária a obtenção de imagens das amostras, para serem avaliadas posteriormente quanto à fluorescência.

Primeiramente, cada fatia de resina composta era levada de forma individual, numa lupa óptica monocular MM-L1 (MM Optics LTDA, São Carlos) com aumento de 30x, sob iluminação de 1 LED de 470 ± 10 nm (Figura 6), a qual se colocou um filtro de 600 nm, a fim de evitar a interferência da reflexão de luz de outros lugares e só observar a fluorescência do corante.

A esta lupa estava acoplada uma câmara de vídeo digital CCD (modelo GC-405N-G, LG- Honeywell) e esta por sua vez a um computador (programa Matrox PC-VCR), a fim de captar uma imagem da amostra e analisar o perfil de fluorescência do corante no interior da resina (Figura 6).

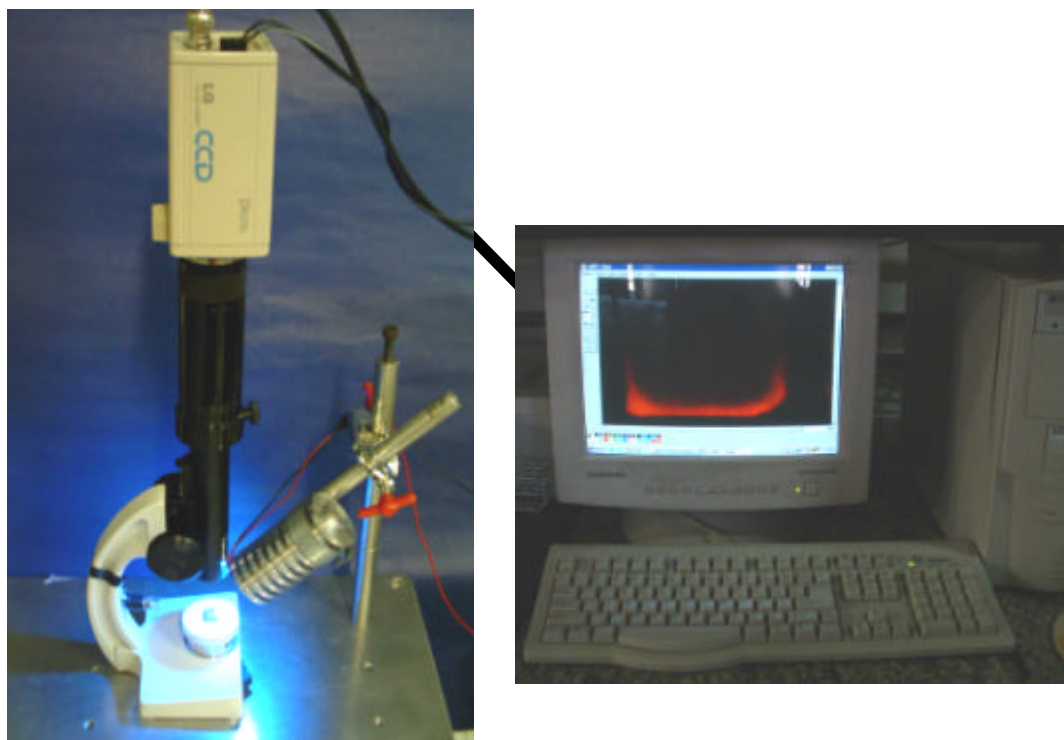


FIGURA 6. Sistema para observação da fluorescência nas amostras: câmara de vídeo acoplada a uma lupa óptica com aumento de 30x, sob iluminação de 1 LED de 470 ± 10 nm e por sua vez acoplada a um computador.

Esta análise foi realizada com auxílio do programa de computador Image Tools 3.0 (The University of Texas Health Science Center in San Antonio, EUA.), traçando a área de fluorescência de uma amostra a partir da região inicial de penetração de corante até aproximadamente a base do corpo de prova, como mostra a Figura 7.

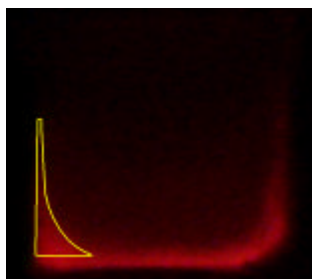


FIGURA 7. Delimitação do perfil de fluorescência na imagem da amostra de resina composta

Posteriormente, foi selecionado um ponto qualquer ao longo da área delimitada onde ocorre o fim da saturação lateral de fluorescência no interior da resina (Figura 8), a fim de descobrir qual é o valor da percepção de fluorescência do nosso olho nesse ponto.

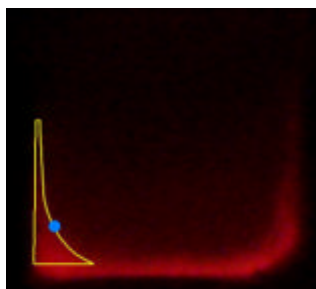


FIGURA 8. Imagem da resina composta, onde foram delimitados o perfil de fluorescência do corante e o ponto escolhido a ser analisado.

No processamento dessa imagem utilizamos primeiramente o programa Image Tool 3.0, para obter a coordenada ou localização do ponto selecionado, estando esse ponto no eixo Y em 441 pixels.

Levando em consideração que a amostra foi confeccionada com 4 mm de largura por 4 mm de altura, o que corresponde a 509 pixels no programa de imagens, realizamos a transformação dos pixels para milímetros, fazendo uso de regra de três, para ser utilizado no próximo processamento da imagem:

$$509 \text{ pixels} - 4 \text{ mm}$$

$$441 \text{ pixels} - X = 3,46 \text{ mm}$$

Esta medida nos serviu de referência para que com auxílio de um programa de análise linear de fluorescência (Liner Grabber -desenvolvido no instituto de física de São Carlos/USP), pudéssemos realizar um gráfico de intensidade aproximadamente na mesma linha do ponto escolhido na amostra, ou seja no milímetro 3,46. (Gráfico 1).

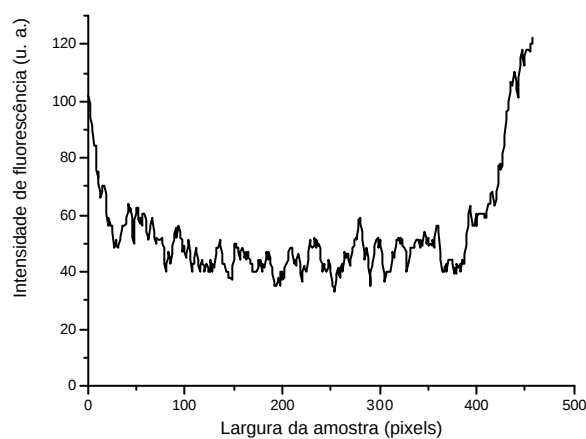


GRÁFICO 1. Gráfico de intensidade de fluorescência da linha, onde o ponto foi selecionado.

Por outro lado, ao analisar a imagem do ponto escolhido (Figura 8) e medir em sentido horizontal a distância de saturação dessa região, medimos um valor de 33 pixels, que ao transformá-lo por regra de três em mm, obtivemos a medida de 0.26 mm:

$$509 \text{ pixels} - 4 \text{ mm}$$

$$33 \text{ pixels} - X = 0,26 \text{ mm}$$

Este valor foi localizado posteriormente no gráfico de intensidade de fluorescência (Gráfico 1).

Neste gráfico, a distância de 458 pixels corresponde a 4 mm que é a largura total de nossa amostra de resina. Sabendo que o ponto está localizado a 0,26 mm do início da amostra nos foi possível localizar esse ponto no gráfico de intensidade de fluorescência realizando regra de três:

$$458 \text{ pixels} - 4 \text{ mm}$$

$$X - 0,26 \text{ mm} = 29,77 \text{ pixels.}$$

Com este dado localizamos no eixo X o ponto 29,77 pixels e verificamos o valor de Intensidade de Fluorescência (I.F.) no eixo Y que é de 49 unidades arbitrárias (u.a.), representado pelo ponto vermelho no gráfico 2.

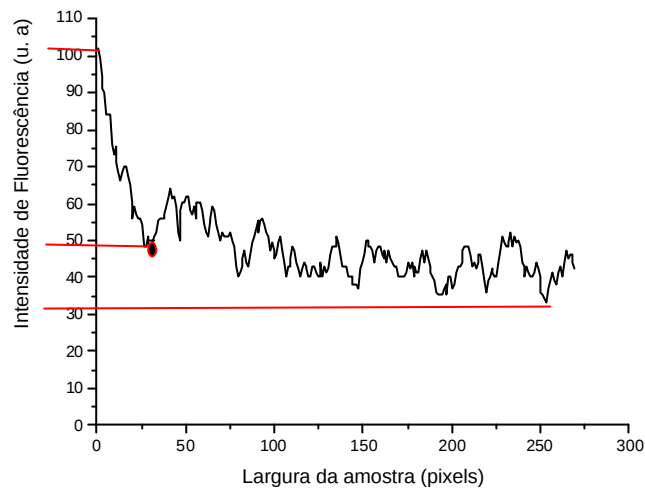


GRÁFICO 2. Localização do ponto escolhido no gráfico de intensidade de fluorescência.

Analisando esse gráfico 2, podemos observar que o maior valor de intensidade de fluorescência é 102 (u.a.), e o menor valor é 33 (u.a.). Com esses dados calculamos dentro dessa variação o 100% de intensidade de fluorescência da amostra, quando subtraímos o menor do maior valor:

$$102 - 33 = 69$$

ou seja 69 (u.a.) é 100% de intensidade de fluorescência.

Para calcular a porcentagem de percepção de fluorescência do olho humano nessa amostra, subtraímos o valor de intensidade do nosso ponto escolhido, que é

Y=49 (u.a.), pelo menor valor da fluorescência da amostra que é 33 (u.a.), obtendo um valor de 16 (u.a.).

Com estes dados podemos então realizar o seguinte cálculo:

$$69 \text{ (u.a.)} - 100\%$$

$$16 \text{ (u.a.)} - X = 23.18 \%$$

Este dado nos confirma que a percepção do nosso olho à fluorescência, gira também em torno de $30\% \pm 10$, como é conhecido na área de física.

Com este resultado e com a ajuda de profissionais em Física, pode-se deduzir uma fórmula matemática adequada para a obtenção da difusão de corante no interior de resina composta, através da análise do perfil espacial de fluorescência.

DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE DIFUSÃO

Ao fazermos um experimento de difusão de moléculas através de uma matriz sólida temos que lembrar que a penetração das moléculas de corante ocorre semelhantemente ao processo de difusão de um soluto contra seu perfil de concentração. Em outras palavras, através dos movimentos microscópicos das moléculas ocorre uma ocupação dos interstícios da matriz, fazendo com que as regiões pobres em moléculas de soluto, aumentem sua concentração com o passar do tempo.

Nesta situação, podemos aplicar as leis básicas da difusão em sólidos.

Durante o processo de difusão existe uma propriedade do material chamado coeficiente de difusão (D) que quantifica a penetrabilidade do soluto na matriz.

Pelos mecanismos de movimentação molecular, D depende do tipo e condições do material, mas também da temperatura. O parâmetro que varia durante o tempo de difusão é o perfil de concentração para cada instante.

Chamando de $C(x, t)$ a concentração de moléculas difundindo como função da posição e tempo, a equação mestre é a chamada segundo a lei de Fick que relaciona o material com o perfil de concentração:

$$\frac{d c}{d t} = D \frac{d^2 c}{d x^2}$$

Ela é expressa através das derivadas da concentração e sua solução fornece, $C(x,t)$, o perfil de concentração em cada instante.

Conhecendo-se a solução e fazendo uma medida no laboratório, podemos extrair o valor de D que conjuga nele inúmeras propriedades do material.

Para o ensaio que realizamos, onde uma solução de rodamina 6G a 0,1% em etilenoglicol com concentração constante e colocada em contato com a resina composta processada, podemos considerar a concentração de moléculas de corante na superfície como constantes, e nossa dúvida consistia em verificar como a $C(x,t)$ progride no interior do material. A situação está resumida no diagrama da Figura 9.

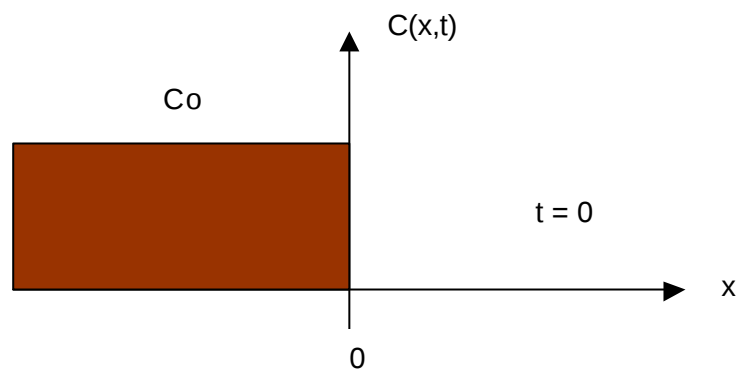


Fig. 9a

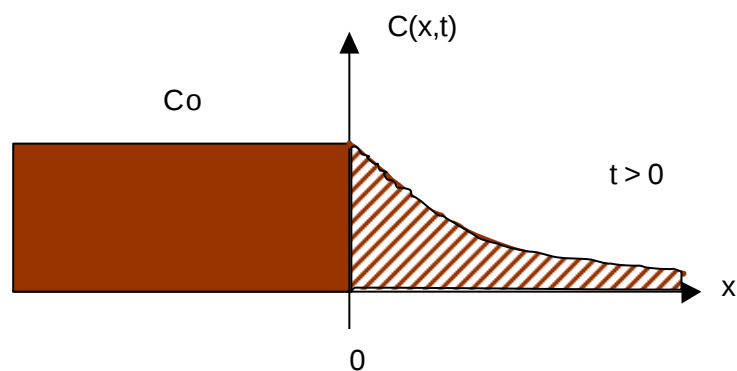


Fig. 9b

FIGURA 9. A posição $x=0$ corresponde à superfície do corpo de prova no qual estudamos a difusão. No instante de tempo $t=0$, as moléculas do corante estão apenas na solução ($x<0$) (fig. 9a), e a partir deste instante elas difundem para dentro da resina estabelecendo um perfil $C(x,t)$ (fig. 9b).

A solução da equação de Fick para esta situação tem a forma:

$$C(x,t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2 \sqrt{Dt}} \right) \right\}$$

Onde $\operatorname{erf}(y)$ representa a chamada função de erro, cujos valores são tabelados.

Ao esperarmos um certo tempo t , podemos obter o valor de D simplesmente tomando o ponto onde $C(x,t) = 0,3 C_0$ ou seja, o ponto $X = X_{30}$ onde o valor caiu a 30% do valor da superfície.

Neste caso:

$$0,7 C_0 = C_0 \operatorname{erf} \left(\frac{X_{30}}{2\sqrt{Dt}} \right)$$

Ou seja:

$$\operatorname{erf} \frac{X_{30}}{2\sqrt{Dt}} = 0,7$$

Através dos valores tabelados para a função erro, obtemos:

$$\frac{X_{30}}{2\sqrt{Dt}} = 0,68$$

Ou seja, medindo-se X_{30} obtemos:

$$D = \frac{1}{2t} \left[\frac{X_{30}}{0,68} \right]^2 \quad \text{Difusão} = \text{mm}^2 / \text{horas}$$

Conhecendo-se o tempo de imersão no corante (t) em horas (que em nosso caso pode ser 24 ou 48 horas), e medindo X_{30} que corresponde ao valor da distância horizontal de saturação de fluorescência expressado em milímetros, em cada posição analisada da amostra (ou seja a cada milímetro de profundidade), obtemos a difusão em milímetros quadrados por hora.

Para realizarmos esse cálculo da distância horizontal de saturação de fluorescência nas amostras de resina composta (X_{30}), foi necessário a obtenção de imagens padronizadas de todos os corpos de prova. Para tal como explicado anteriormente, primeiramente cada fatia de resina composta era levada de forma

individual numa lupa óptica monocular MM-L1 (MM Optics LTDA, São Carlos) com aumento de 30x, sob iluminação de 1 LED de 470 ± 10 nm. No interior da lupa, foi colocado um filtro de 600 nm, a fim de evitar a interferência da reflexão de luz de outros lugares e só observar a fluorescência do corante no interior da fatia de resina composta.

A esta lupa estava acoplada uma câmara de vídeo digital CCD (modelo GC-405N-G, LG- Honeywell) e esta por sua vez a um computador (programa Matrox PC-VCR), a fim de captar uma imagem da amostra e analisar o perfil de fluorescência do corante no interior da resina.

Para individualizar este perfil, traçamos a área de fluorescência de cada amostra a partir da região inicial de penetração de corante até aproximadamente a base do corpo de prova (Figura 10), com auxílio do programa de computador Image Tools 3.0 (The University of Texas Health Science Center in San Antonio, EUA.).

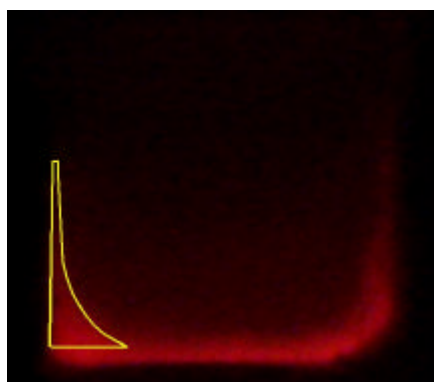


FIGURA 10. Delimitação do perfil espacial de fluorescência na amostra de resina composta, traçado com o programa de computador Image Tools 3.0.

O cálculo em milímetros da distância de saturação no perfil espacial de fluorescência (valor que chamamos de X_{30}), foi realizado em sentido horizontal, a partir da parte lateral externa do corpo de prova até onde termina a saturação de corante em direção ao interior da amostra (Figura 11).

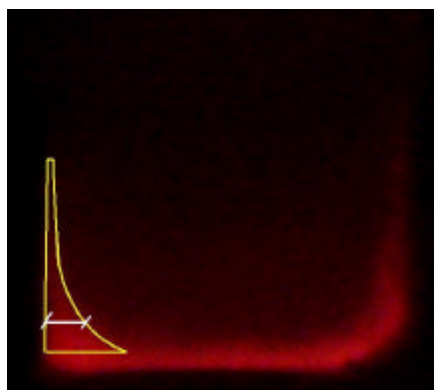


FIGURA 11. A linha branca representa a distância de saturação da fluorescência, a partir da parte externa ao interior da resina (mm). O valor dessa distância é chamado de X_{30} .

Esta distância de saturação foi calculada de 1 em 1 milímetro em todas as amostras de resina, a partir da superfície de topo (milímetro 0) até o milímetro 3,8, uma vez que, invariavelmente, o milímetro 4 (base do corpo de prova) se encontrava completamente saturado de corante, impossibilitando o cálculo da distância.

Outra razão pela qual é descartado o milímetro 4, é porque nesta região houve difusão de corante tanto em direção horizontal como vertical para o interior da massa de resina composta, o que poderia influenciar os resultados.

Para melhor compreensão da sistemática adotada, apresentamos a seguir um exemplo utilizando o corpo de prova **L2/60s/48h/3** (que seria do grupo *Sistema LEDs*, subgrupo da *resina híbrida*, com tempo de polimerização de *60 segundos* e tempo de imersão no corante de *48 horas*, repetição #3), onde vamos determinar qual é o valor de X_{30} no milímetro 3 de profundidade desta amostra.

Levando em consideração que a amostra tem 4 mm de largura por 4 mm de altura, o que corresponde a 509 pixels no programa de imagens, e queremos calcular a distância de saturação no 3 milímetro de profundidade, necessitamos conhecer primeiro o equivalente em pixels na localização do 3 mm. Para isso realizaremos a transformação dos milímetros para pixels, fazendo uso de regra de três:

509 pixels - 4 mm

X pixels - 3 mm = 382 pixels

Esse valor de 382 pixels será subtraído do valor em pixels da altura da amostra que é de 509, para sabermos a localização do 3 mm de profundidade dentro do corpo de prova: $509 - 382 = 127$ pixels.

Considerando que todas as imagens obtidas das amostras possuem uma área remanescente que não corresponde ao corpo de prova de resina composta (representadas pelas linhas verdes na Figura 12), deverá ser levada em conta a distância da área inferior à amostra, para calcularmos de forma correta a localização do 3 mm.

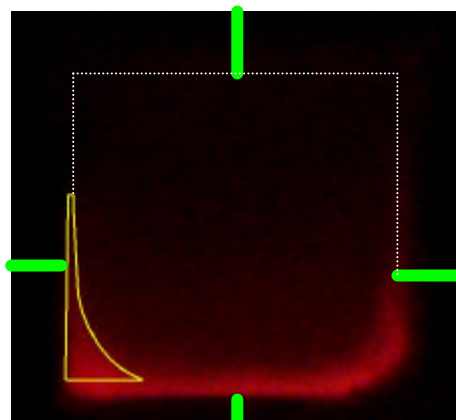


FIGURA 12. Linhas verdes representam a distância das áreas não correspondentes ao corpo de prova; linhas brancas não contínuas, representam os limites da amostra de resina composta.

Sendo que a altura dessa área inferior corresponde a 32 pixels, somamos esse dado com o valor de 127 pixels obtido anteriormente: $127 + 32 = 159$ pixels, e a continuação, este valor obtido será subtraído da altura total da imagem, que corresponde em todas as amostras a 598 pixels, a fim de obtermos a localização real do milímetro 3 na imagem: $598 - 159 = 439$ pixels.

Isto quer dizer que na posição de 439 pixels no eixo Y estará localizado o milímetro 3 de profundidade na imagem do corpo de prova de resina composta.

Tendo a localização do milímetro que nos interessa, passaremos a calcular a distância horizontal de saturação da fluorescência (X_{30}), nesse ponto.

Para isso, utilizaremos o eixo X, subtraindo o valor em pixels do ponto onde termina a saturação da fluorescência no interior da resina, pelo valor onde inicia a fluorescência do corpo de prova: $142 - 123 = 19$ pixels (Figura 13).

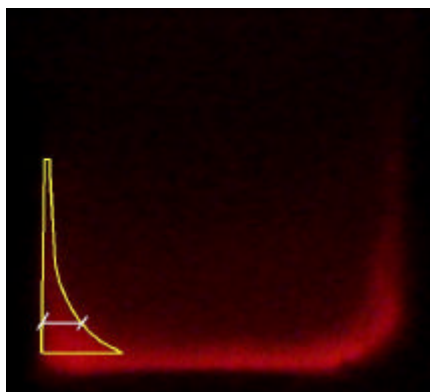


FIGURA 13. A linha branca representa a distância de saturação da fluorescência no milímetro 3 de profundidade, a partir da parte externa ao interior da resina (distância em pixels).

Isto significa que a distância de saturação de fluorescência no milímetro 3 de profundidade desta amostra corresponde a 19 pixels, mas para aplicar a fórmula de difusão, precisamos transformar o valor de pixels para milímetros com auxílio de regra de três:

$$509 \text{ pixels} - 4 \text{ mm}$$

$$19 \text{ pixels} - X \text{ mm} = 0,15 \text{ mm}$$

Sabendo que 0,15 mm é o valor de X_0 no milímetro 3 desta amostra, aplicamos a fórmula matemática a fim de conhecer quantos milímetros quadrados por hora difunde a rodamina 6G no interior da amostra de resina composta a esta profundidade:

$$D = \frac{1}{2 (48h)} \left[\frac{0,15 \text{ mm}}{0.68} \right]^2 = 0,00050 \text{ mm}^2 / \text{hora}$$

Difusão = $0,50 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2 / \text{hora}$

Desta maneira foram obtidos os valores do coeficiente de difusão de rodamina 6G a cada milímetro de profundidade, em todos os corpos de prova do nosso experimento.

A seguir, mostramos algumas imagens mais representativas de cada situação de acordo aos grupos estudados (Figura 14 e 15).

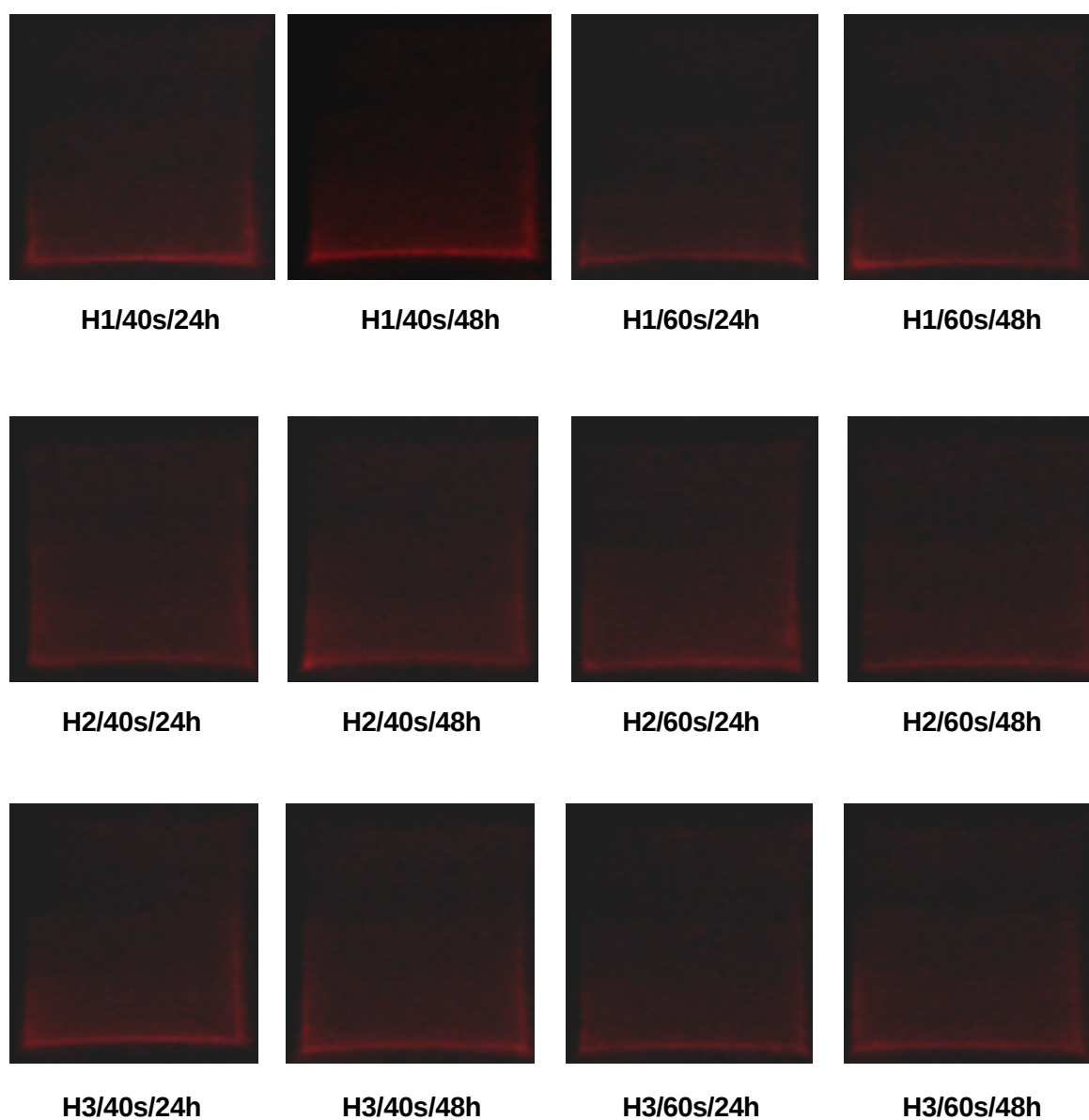


FIGURA 14. Imagens obtidas do grupo **H** (lâmpada halógena; 1/micropartícula, 2/híbrida, 3/compactável; 40s/60s polimerização; 24h/48h imersão no corante).



FIGURA 15. Imagens obtidas do grupo L (sistema LEDs; 1/micropartícula, 2/híbrida, 3/compactável; 40s/60s polimerização; 24h/48h imersão no corante).

METODOLOGIA ESTATÍSTICA

Devido ao número de fatores a serem estudados, se fez necessário o desenvolvimento de um modelo estatístico que nos permitisse realizar uma análise e comparação dos resultados em todas as situações de uma forma simples e objetiva. Por tanto, descrevemos a seguir a metodologia estatística desenvolvida para este experimento.

Para estudar a variação da difusão (D) com a profundidade (x) nos resultados obtidos com os corpos de prova submetidos à polimerização com luz halógena, utilizou-se o modelo exponencial $D+1=a.exp(k.x)$, onde exp indica a base dos logaritmos neperianos. Considerou-se associado a cada resposta D , um erro aleatório multiplicativo, porque quanto maior a profundidade, maior foi a variação das medidas de difusão em torno de um valor médio de difusão. A taxa de variação da difusão em cada profundidade, é determinada pela derivada de D em relação a x , a qual é igual a: $a.k.exp(k.x)$. Para estimar os parâmetros a e k , empregou-se a transformação logarítmica do modelo exponencial acima, $Ln(D+1)=Ln(a)+k.x$, que é uma reta no sistema de coordenadas (x ; $Ln(D+1)$). Agora, foi considerado um erro aleatório aditivo, com a variação de $Ln(D)$ em torno do valor médio aproximadamente equivalente na faixa de profundidades em que foi realizada a regressão.

Analogamente, para os resultados obtidos com os corpos de prova submetidos à polimerização com o Sistema LEDs, utilizou-se o modelo exponencial $D+1=a.exp(k.exp(x))$, considerando-se associado a cada resposta D um erro aleatório multiplicativo. Neste caso, a taxa de variação da difusão em cada

profundidade x é igual a: $a.k.exp(x).exp(k.exp(x))$. A transformação logarítmica fornece o modelo $Ln(D+1)=Ln(a)+k.exp(x)$ com erro aditivo, que é linear no sistema de coordenadas $(exp(x);Ln(D+1))$.

Foi empregado o teste F da análise de variância para avaliar se a regressão da difusão sobre a profundidade é significativa em um nível de significância menor ou igual a 5%. Como havia cinco medidas de difusão em cada profundidade avaliada, foi possível determinar uma estimativa da variância do *erro puro* e com ela avaliar, também pelo teste F, a *falta de ajuste* do modelo de regressão linear, em um nível de significância menor ou igual a 5%. Outro índice empregado foi o *coeficiente de determinação* que estima a porcentagem da variação total que é explicada pela regressão.

A comparação entre os diversos resultados obtidos em uma mesma profundidade, foi realizada pelos intervalos de 95% de confiança para o valor real, construídos em torno do valor médio previsto. Esses intervalos fornecem uma faixa dentro da qual, com 95% de confiança, pode-se prever o valor médio de difusão em uma determinada profundidade. As profundidades consideradas foram 2,0 mm, 3,0 mm e 3,8 mm.

A metodologia da regressão linear utilizada permitiu o cálculo de intervalos de confiança para os coeficientes de regressão k e $Ln(a)$. Considerando esses intervalos e aqueles do valor previsto de difusão, construíram-se intervalos de 95% de confiança para a taxa de variação de difusão em cada profundidade.

RESULTADOS

RESULTADOS

1) Luz Halógena

Nas tabelas A1, A2 e A3 do apêndice A são mostrados alguns resultados do ajuste de retas de regressão linear aos valores de logaritmo de difusão (10^{-3} mm²/hora) em função da profundidade de medição (em mm) nos corpos de prova polimerizados com luz Halógena, respectivamente para as resinas micropartícula, híbrida e compactável. São apresentadas estimativas do coeficiente angular (k) e do coeficiente linear (ln(a)) da reta de regressão, com os respectivos erros padrão, limite inferior (L.I.) e limite superior (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para os valores reais. São dadas também as estatísticas dos testes F para avaliar a significância da regressão e a falta de ajuste do modelo linear (com os correspondentes valores de probabilidade p) e os coeficientes de determinação (r^2).

Nas figuras 16 a 18, onde em cada figura há quatro gráficos de acordo com o tempo de polimerização e o tempo de imersão em corante, são mostradas, respectivamente para as resinas: micropartícula, híbrida e compactável polimerizadas com luz halógena, a linha de regressão linear que descreve o comportamento do logaritmo da difusão em função da profundidade de medição, junto com os pontos experimentais, com a difusão transformada para logaritmo. É possível visualizar nesses gráficos os casos onde a variação do logaritmo da difusão por unidade de profundidade é mais rápida ou menos rápida.

A partir dos resultados anteriores foram determinados o valor médio previsto de difusão, a taxa de variação da difusão em função da profundidade e os respectivos limites inferiores (L.I.) e limites superiores (L.S.) de intervalos de 95% de

confiança para os valores reais de difusão e da taxa de variação. Esses resultados são mostrados nas tabelas 1 a 3, respectivamente para as resinas: micropartícula, híbrida e compactável polimerizadas com luz halógena, de acordo com o tempo de polimerização e de imersão. Esses intervalos de 95% de confiança para a média real de difusão foram reunidos de acordo com a profundidade de medição e estão representados graficamente nas figuras 19 a 21.

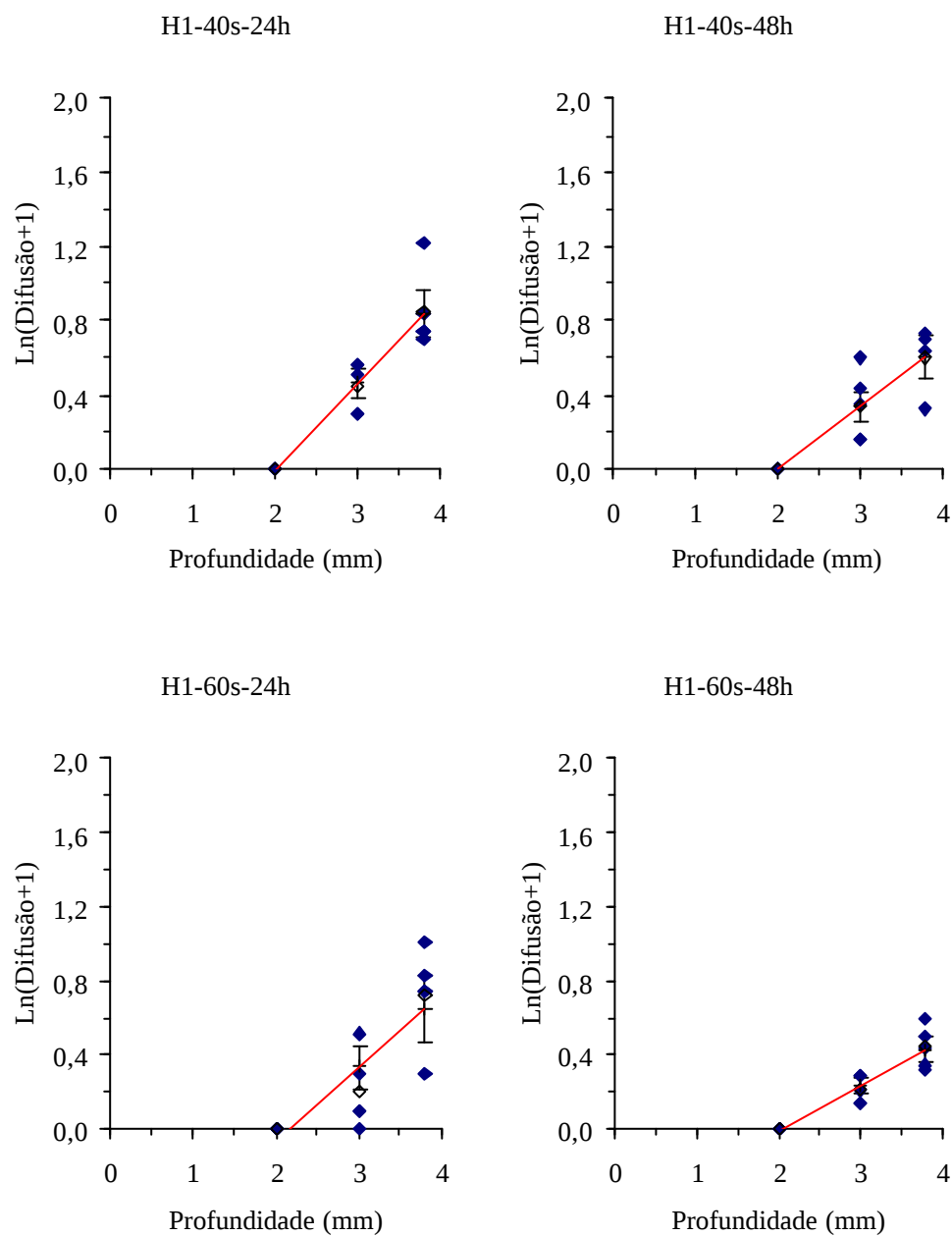


FIGURA 16- Representação gráfica do logaritmo da difusão em função da profundidade de medição, em corpos de prova de resina micropartícula polymerizados com luz halógena (H1) durante 40s ou 60s imersos por 24h ou 48h em corante. Linhas de regressão linear.

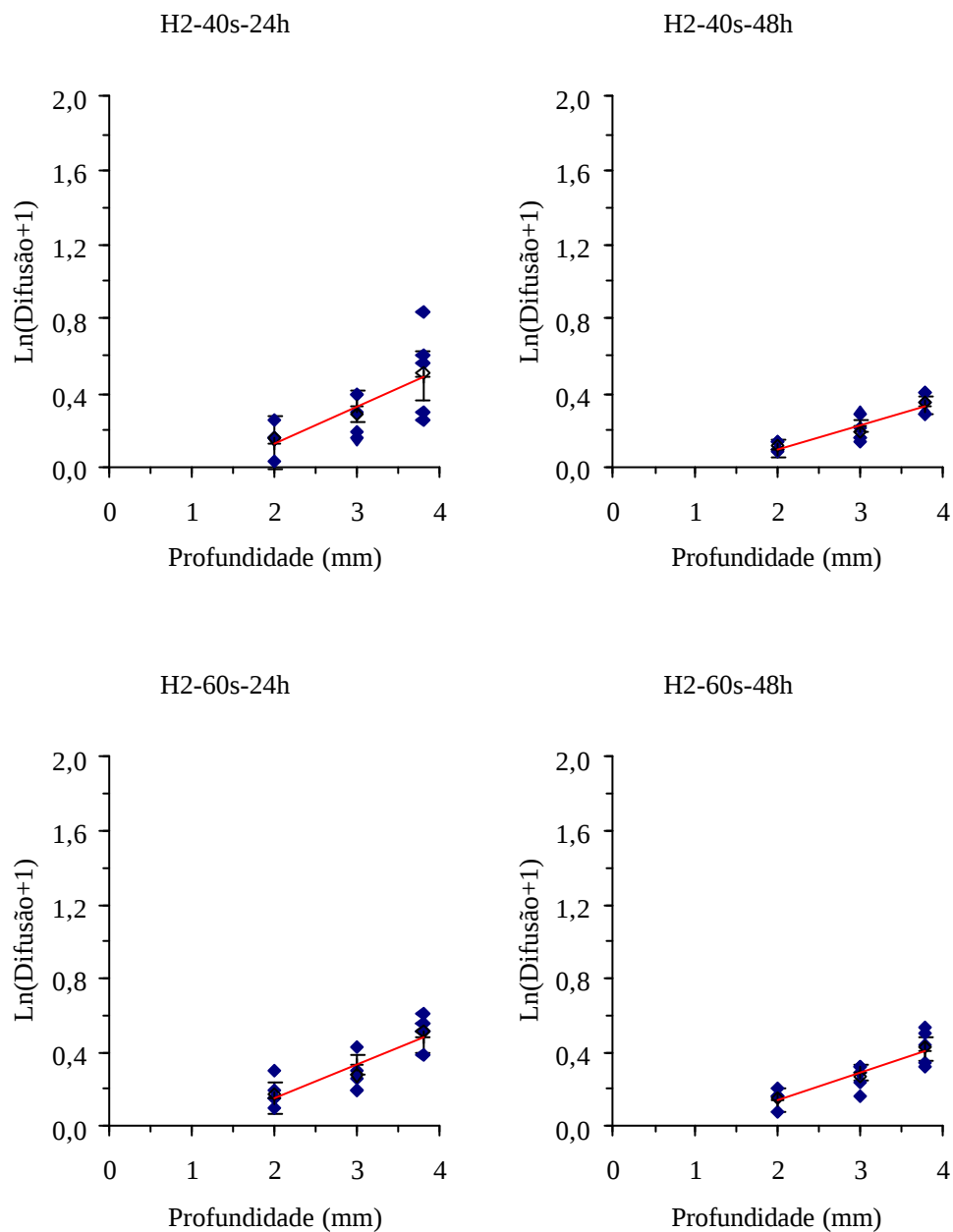


FIGURA 17- Representação gráfica do logaritmo da difusão em função da profundidade de medição, em corpos de prova de resina híbrida polymerizados com luz halógena (H2) durante 40s ou 60s imersos por 24h ou 48h em corante. Linhas de regressão linear.

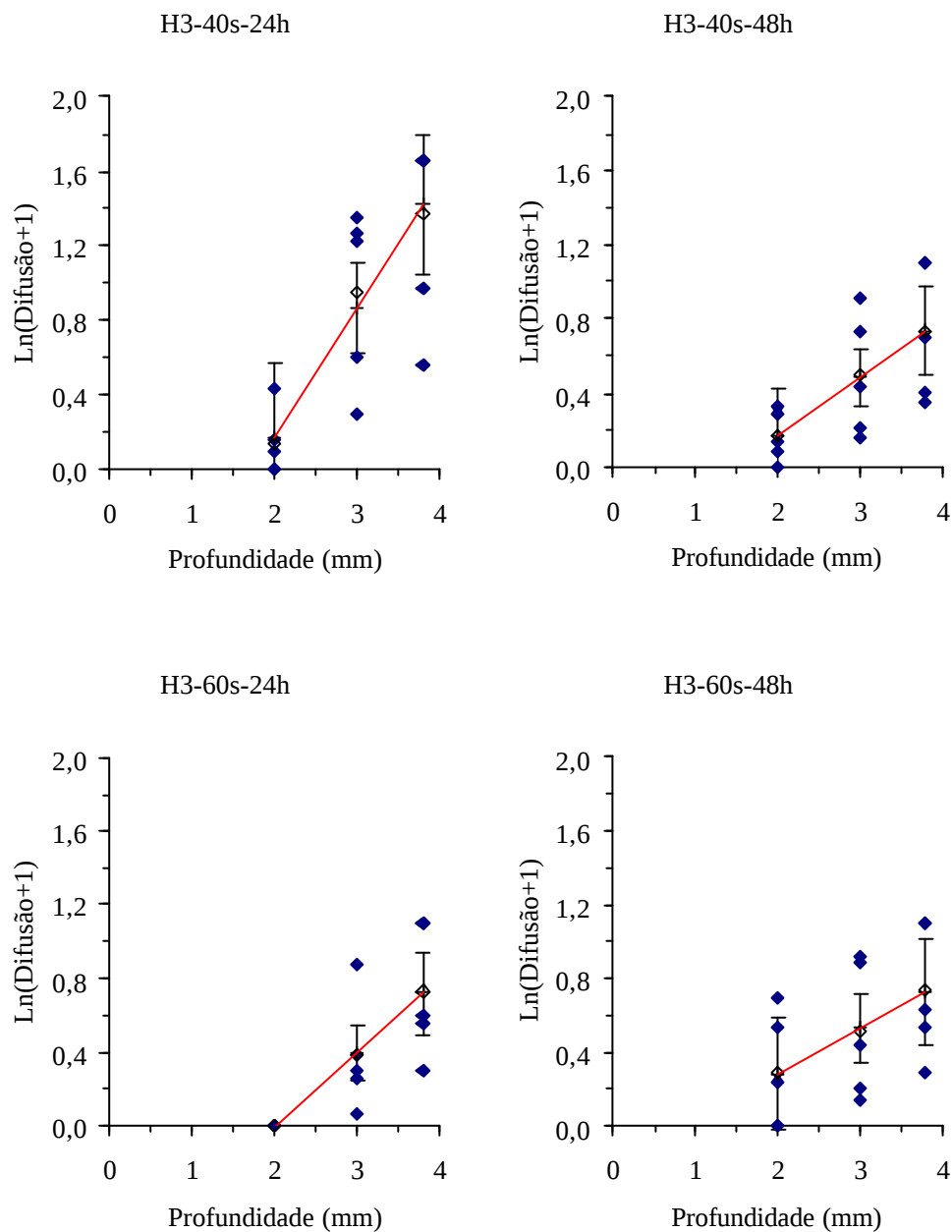


FIGURA 18- Representação gráfica do logaritmo da difusão em função da profundidade de medição, em corpos de prova de resina compactável polymerizados com luz halógena (H3) durante 40s ou 60s imersos por 24h ou 48h em corante. Linhas de regressão linear.

TABELA 1- Valor médio previsto de difusão, taxa de variação da difusão em função da profundidade e respectivos limites inferiores (L.I.) e limites superiores (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para os valores reais, relativos à *resina micropartícula* polimerizada com *luz halógena* (H1), de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

Tempo	Profundidade (mm)	Previsão			Variação		
		Estim.	L.I.	L.S.	Estim.	L.I.	L.S.
H1-40s-24h	2,0	0,00	-	-	0,47	0,36	0,58
	3,0	0,59	0,47	0,72	0,75	0,53	0,99
	3,8	1,31	1,05	1,61	1,09	0,74	1,51
H1-40s-48h	2,0	0,00	-	-	0,33	0,23	0,44
	3,0	0,40	0,30	0,51	0,47	0,30	0,66
	3,8	0,83	0,63	1,06	0,61	0,38	0,90
H1-60s-24h	2,0	0,00	-	-	0,39	0,23	0,55
	3,0	0,40	0,24	0,57	0,55	0,29	0,87
	3,8	0,92	0,60	1,30	0,76	0,38	1,28
H1-60s-48h	2,0	0,00	-	-	0,24	0,19	0,30
	3,0	0,27	0,21	0,32	0,31	0,23	0,40
	3,8	0,54	0,44	0,64	0,38	0,27	0,50

TABELA 2- Valor médio previsto de difusão, taxa de variação da difusão em função da profundidade e respectivos limites inferiores (L.I.) e limites superiores (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para os valores reais, relativos à *resina híbrida* polimerizada com *luz halógena* (H2), de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

Material	Profundidade (mm)	Previsão			Variação		
		Estim.	L.I.	L.S.	Estim.	L.I.	L.S.
H2-40s-24h	2,0	0,14	-0,01	0,31	0,22	0,08	0,41
	3,0	0,39	0,27	0,52	0,27	0,10	0,48
	3,8	0,63	0,42	0,86	0,32	0,11	0,58
H2-40s-48h	2,0	0,10	0,05	0,15	0,14	0,09	0,20
	3,0	0,25	0,22	0,29	0,16	0,11	0,22
	3,8	0,39	0,33	0,46	0,18	0,12	0,25
H2-60s-24h	2,0	0,17	0,07	0,27	0,21	0,12	0,32
	3,0	0,40	0,33	0,47	0,25	0,15	0,37
	3,8	0,62	0,49	0,75	0,29	0,17	0,45
H2-60s-48h	2,0	0,16	0,08	0,23	0,17	0,10	0,25
	3,0	0,34	0,29	0,40	0,20	0,12	0,28
	3,8	0,51	0,42	0,61	0,23	0,14	0,33

TABELA 3- Valor médio previsto de difusão, taxa de variação da difusão em função da profundidade e respectivos limites inferiores (L.I.) e limites superiores (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para os valores reais, relativos à *resina compactável* polymerizada com *luz halógena* (H3), de acordo com o tempo de polimerização e de imersão

Material	Profundidade (mm)	Previsão			Variação		
		Estim.	L.I.	L.S.	Estim.	L.I.	L.S.
H3-40s-24h	2,0	0,19	-0,20	0,76	0,82	0,29	1,79
	3,0	1,37	0,86	2,03	1,64	0,67	3,09
	3,8	3,13	1,84	5,00	2,85	1,03	6,12
H3-40s-48h	2,0	0,18	-0,08	0,53	0,37	0,09	0,81
	3,0	0,62	0,39	0,90	0,51	0,14	1,00
	3,8	1,09	0,64	1,66	0,66	0,17	1,41
H3-60s-24h	2,0	0,00	-	-	0,41	0,21	0,60
	3,0	0,49	0,29	0,72	0,60	0,27	1,04
	3,8	1,06	0,65	1,57	0,84	0,35	1,55
H3-60s-48h	2,0	0,33	-0,01	0,80	0,32	-0,01	0,90
	3,0	0,70	0,41	1,05	0,41	-0,01	1,02
	3,8	1,07	0,55	1,76	0,50	-0,01	1,37

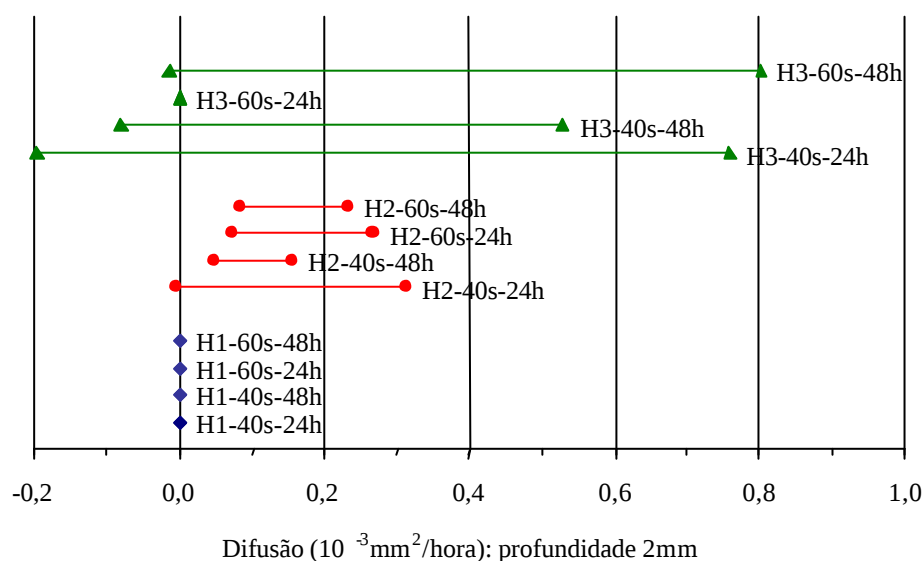


FIGURA 19- Representação gráfica dos intervalos de 95% de confiança para a média real de difusão na profundidade de medição 2 mm, para as resinas: micropartícula (1), híbrida (2) e compactável (3) polymerizadas com luz halógena, de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

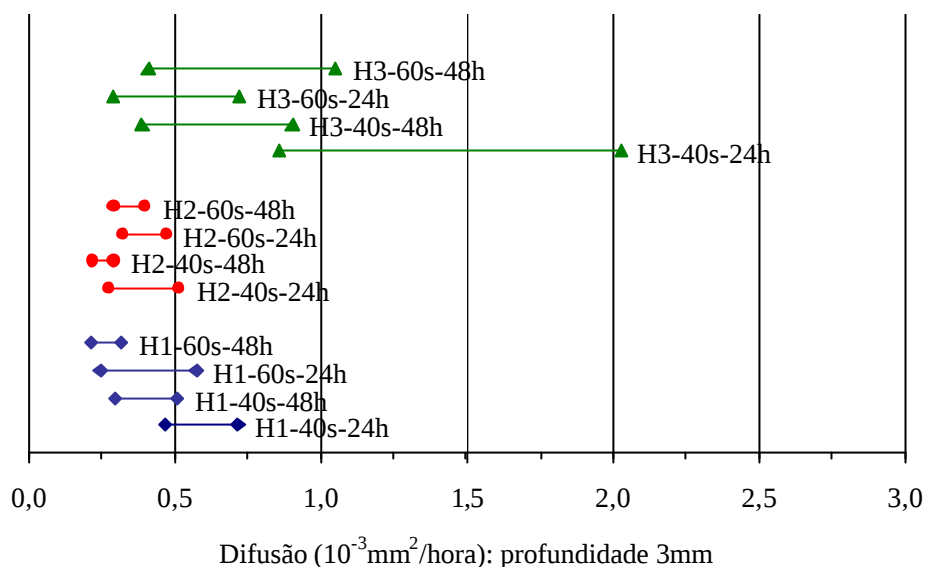


FIGURA 20- Representação gráfica dos intervalos de 95% de confiança para a média real de difusão na profundidade de medição 3 mm, para as resinas: micropartícula (1), híbrida (2) e compactável (3) polimerizadas com luz halógena, de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

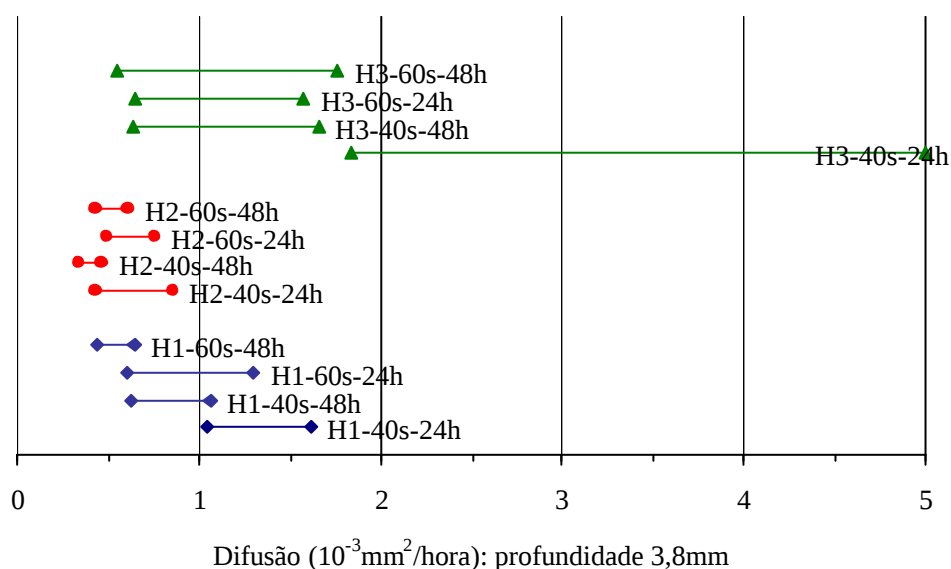


FIGURA 21- Representação gráfica dos intervalos de 95% de confiança para a média real de difusão na profundidade de medição 3,8 mm, para as resinas: micropartícula (1), híbrida (2) e compactável (3) polimerizadas com luz halógena, de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

2) Sistema LEDs

Resultados análogos, correspondentes à polimerização com LEDs, são mostrados a seguir. Nas tabelas B1, B2 e B3 do apêndice B estão resultados do ajuste de retas de regressão linear aos valores de logaritmo de difusão (em 10^{-3} mm²/hora) em função da exponencial da profundidade (em mm) de medição, respectivamente para as resinas micropartícula, híbrida e compactável.

Analogamente à luz halógena, nas figuras 22 a 24, onde em cada figura há quatro gráficos de acordo com o tempo de polimerização e o tempo de imersão em corante, é possível visualizar os casos onde a variação do logaritmo da difusão por unidade de exponencial de profundidade é mais rápida ou menos rápida.

Nas tabelas 4 a 6 são dados, para o LEDs, o valor médio previsto de difusão, a taxa de variação da difusão em função da profundidade e os respectivos limites inferiores (L.I.) e limites superiores (L.S.) de intervalos de 95% de confiança para os valores reais de difusão e da taxa de variação. O nível de significância deve ser considerado aproximado, pois a transformação adotada não conseguiu homogeneizar adequadamente a variância do logaritmo da difusão. Na profundidade mais baixa, a confiança pode ser até maior que 95% e na profundidade mais alta, deve ser menor. Esses intervalos de 95% de confiança para a média real de difusão foram reunidos de acordo com a profundidade de medição e estão representados graficamente nas figuras 25 a 27.

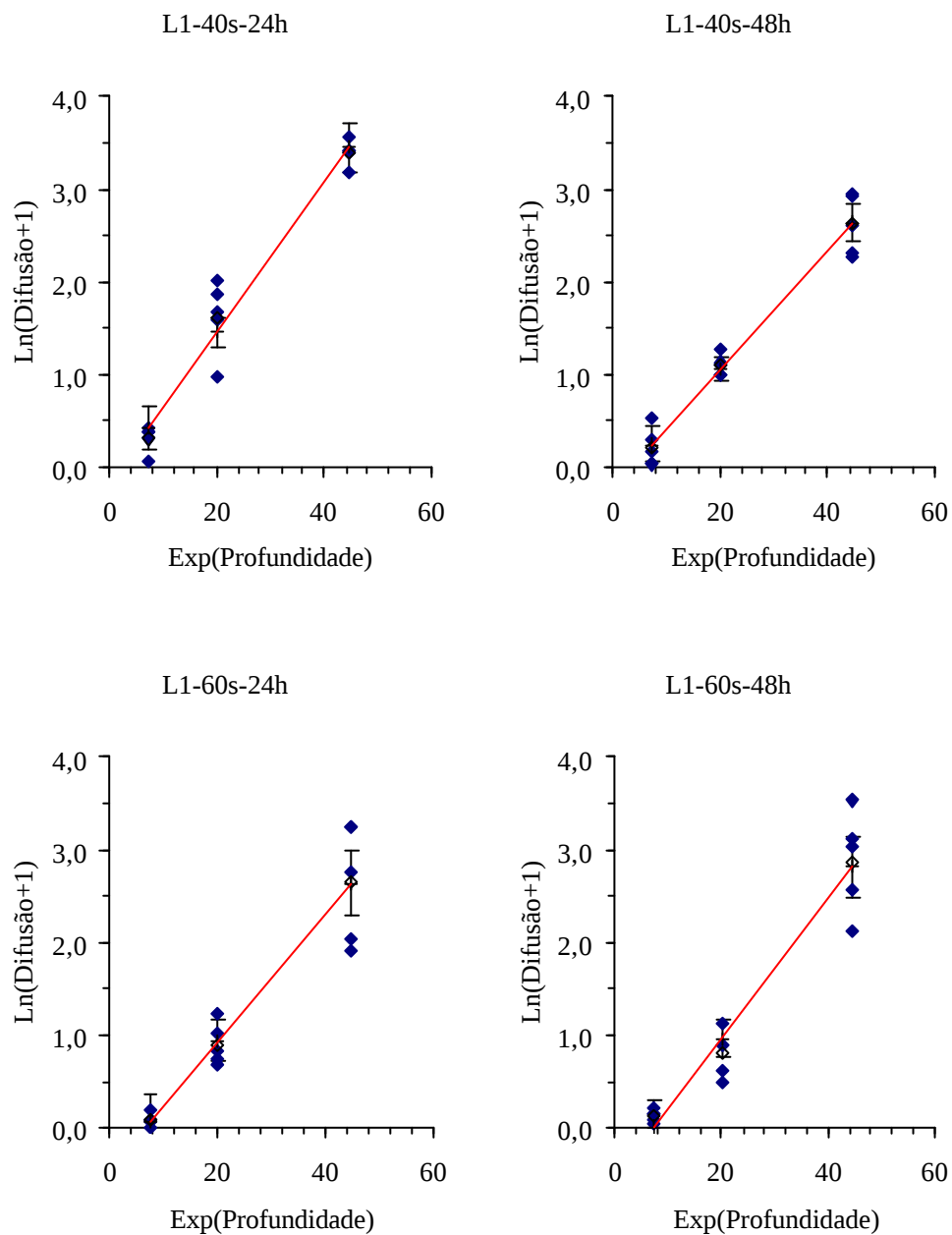


FIGURA 22- Representação gráfica do logaritmo da difusão em função da exponencial da profundidade de medição, em corpos de prova de resina micropartícula polymerizados com LEDs (L1) durante 40s ou 60s imersos por 24h ou 48h em corante. Linhas de regressão linear.

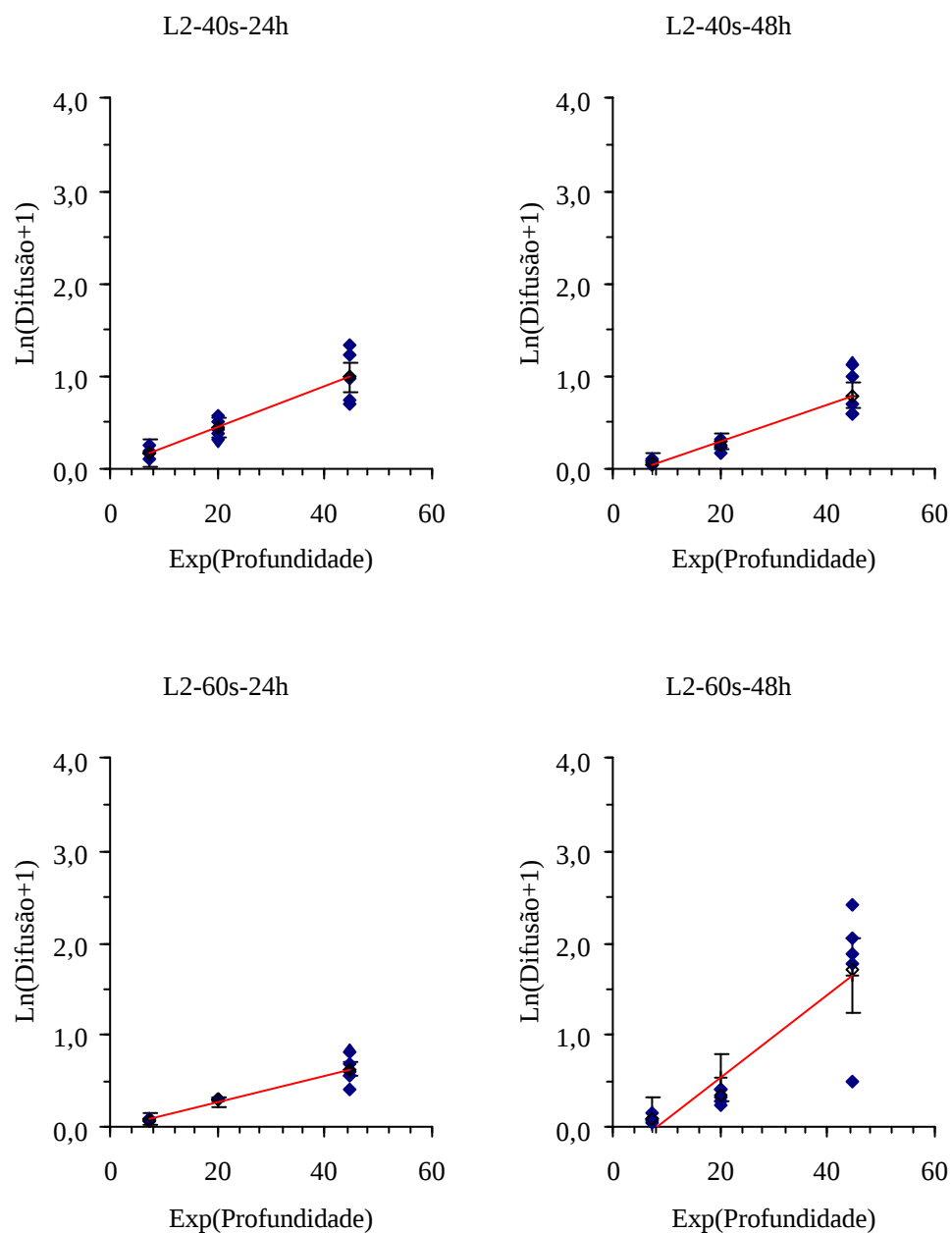


FIGURA 23- Representação gráfica do logaritmo da difusão em função da exponencial da profundidade de medição, em corpos de prova de resina híbrida polymerizados com LEDs (L2) durante 40s ou 60s imersos por 24h ou 48h em corante. Linhas de regressão linear.

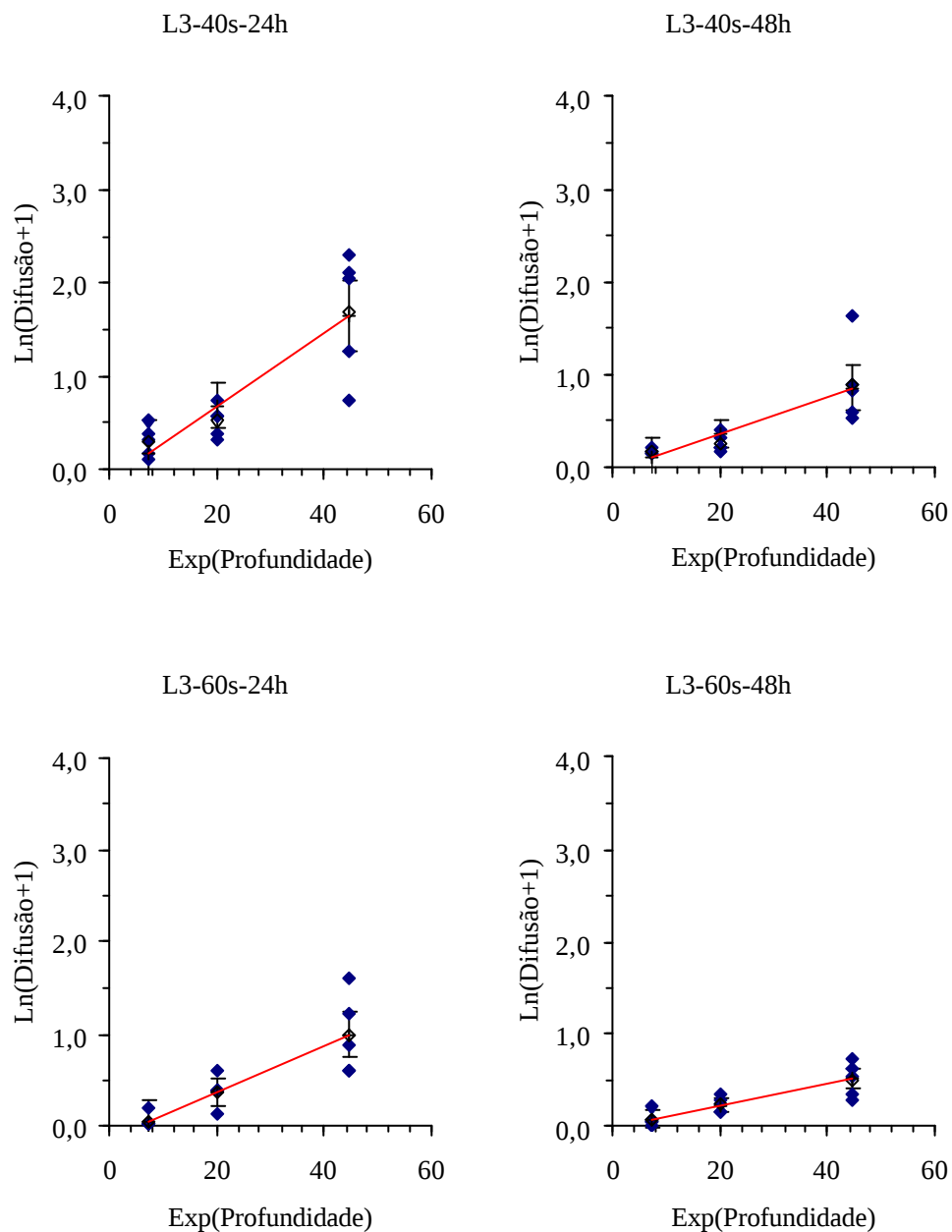


FIGURA 24- Representação gráfica do logaritmo da difusão em função da exponencial da profundidade de medição, em corpos de prova de resina compactável polymerizados com LEDs (L3) durante 40s ou 60s imersos por 24h ou 48h em corante. Linhas de regressão linear.

TABELA 4- Valor médio previsto de difusão, taxa de variação da difusão em função da profundidade e respectivos limites inferiores (L.I.) e limites superiores (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para os valores reais, relativos à *resina micropartícula* polimerizada com *LEDs* (L1), de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

Material	Profundidade (mm)	Previsão			Variação		
		Estim	L.I.	L.S.	Estim.	L.I.	L.S.
L1-40s-24h	2,0	0,53	0,21	0,92	0,92	0,64	1,29
	3,0	3,28	2,65	4,03	6,99	5,22	9,23
	3,8	30,68	23,44	40,06	115,12	77,82	167,68
L1-40s-48h	2,0	0,28	0,06	0,54	0,60	0,44	0,82
	3,0	1,88	1,53	2,28	3,70	2,84	4,75
	3,8	12,91	10,28	16,17	39,80	28,16	55,36
L1-60s-24h	2,0	0,07	-0,22	0,45	0,54	0,32	0,88
	3,0	1,56	1,06	2,17	3,53	2,29	5,25
	3,8	12,91	8,81	18,72	42,77	24,25	72,54
L1-60s-48h	2,0	0,02	-0,24	0,37	0,57	0,35	0,89
	3,0	1,65	1,16	2,25	3,98	2,69	5,72
	3,8	15,72	11,01	22,27	55,96	33,32	91,23

TABELA 5- Valor médio previsto de difusão, taxa de variação da difusão em função da profundidade e respectivos limites inferiores (L.I.) e limites superiores (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para os valores reais, relativos à *resina híbrida* polimerizada com *LEDs* (L2), de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

Material	Profundidade (mm)	Previsão			Variação		
		Estim	L.I.	L.S.	Estim.	L.I.	L.S.
L2-40s-24h	2,0	0,18	0,02	0,36	0,19	0,12	0,29
	3,0	0,56	0,42	0,73	0,70	0,45	0,99
	3,8	1,70	1,30	2,17	2,67	1,64	4,02
L2-40s-48h	2,0	0,04	-0,07	0,17	0,15	0,10	0,22
	3,0	0,34	0,24	0,46	0,54	0,37	0,74
	3,8	1,20	0,92	1,51	1,96	1,27	2,82
L2-60s-24h	2,0	0,10	0,03	0,18	0,12	0,08	0,15
	3,0	0,32	0,26	0,39	0,38	0,28	0,49
	3,8	0,88	0,73	1,04	1,20	0,87	1,59
L2-60s-48h	2,0	-0,04	-0,33	0,37	0,32	0,15	0,62
	3,0	0,71	0,33	1,20	1,56	0,79	2,70
	3,8	4,23	2,49	6,83	10,60	4,62	21,37

TABELA 6- Valor médio previsto de difusão, taxa de variação da difusão em função da profundidade e respectivos limites inferiores (L.I.) e limites superiores (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para os valores reais, relativos à *resina compactável* polimerizada com *LEDs* (L3), de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

Material	Profundidade (mm)	Previsão			Variação		
		Estim	L.I.	L.S.	Estim.	L.I.	L.S.
L3-40s-24h	2,0	0,20	-0,15	0,68	0,35	0,15	0,67
	3,0	0,97	0,55	1,49	1,54	0,75	2,70
	3,8	4,15	2,51	6,56	9,00	3,80	18,24
L3-40s-48h	2,0	0,10	-0,11	0,37	0,17	0,07	0,30
	3,0	0,43	0,23	0,66	0,59	0,27	1,00
	3,8	1,37	0,86	2,02	2,16	0,92	4,03
L3-60s-24h	2,0	0,06	-0,15	0,31	0,20	0,10	0,33
	3,0	0,45	0,25	0,69	0,73	0,39	1,17
	3,8	1,68	1,10	2,43	2,99	1,46	5,27
L3-60s-48h	2,0	0,09	-0,01	0,20	0,09	0,05	0,14
	3,0	0,26	0,18	0,35	0,29	0,17	0,42
	3,8	0,67	0,49	0,86	0,84	0,47	1,30

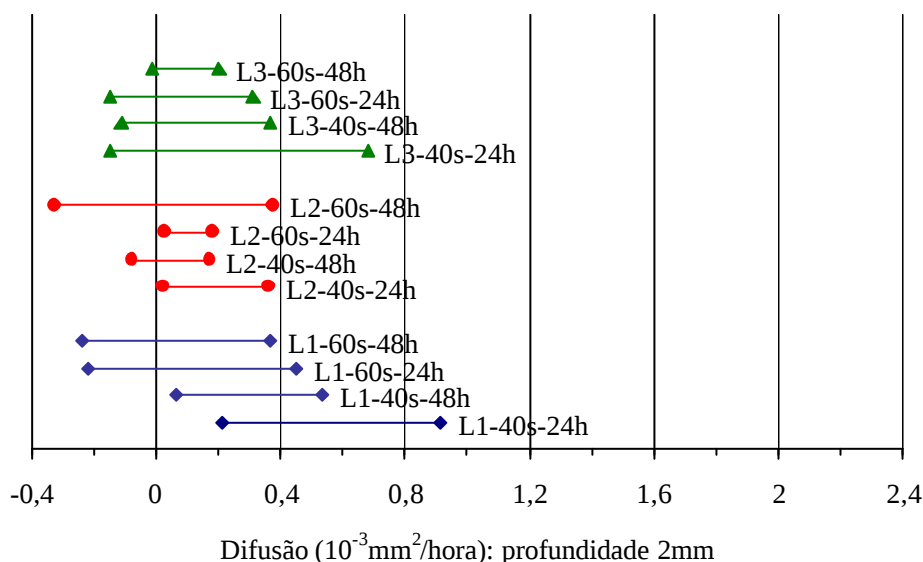


FIGURA 25- Representação gráfica dos intervalos de 95% de confiança para a média real de difusão na profundidade de medição 2,0 mm, para as resinas: micropartícula (1), híbrida (2) e compactável (3) polimerizadas com LEDs, de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

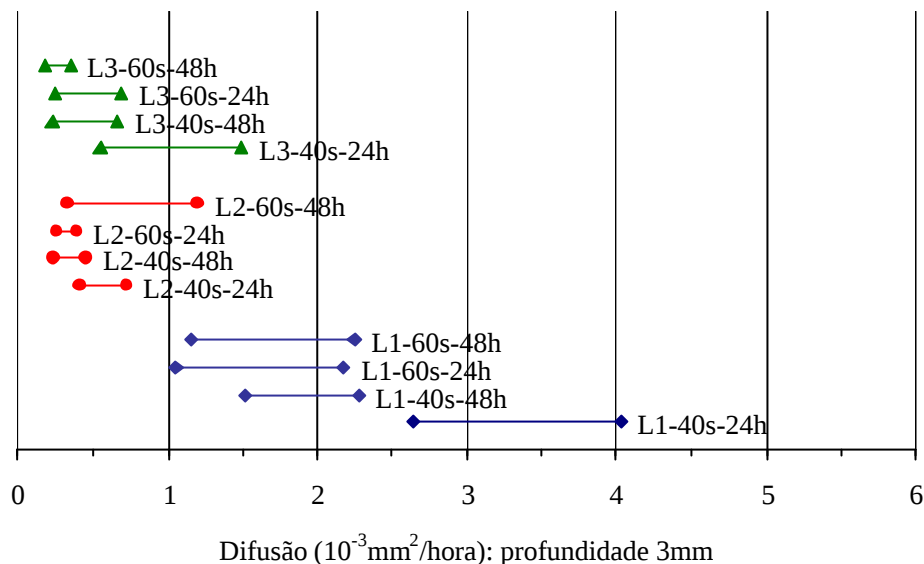


FIGURA 26- Representação gráfica dos intervalos de 95% de confiança para a média real de difusão na profundidade de medição 3,0 mm, para as resinas: micropartícula (1), híbrida (2) e compactável (3) polimerizadas com LEDs, de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

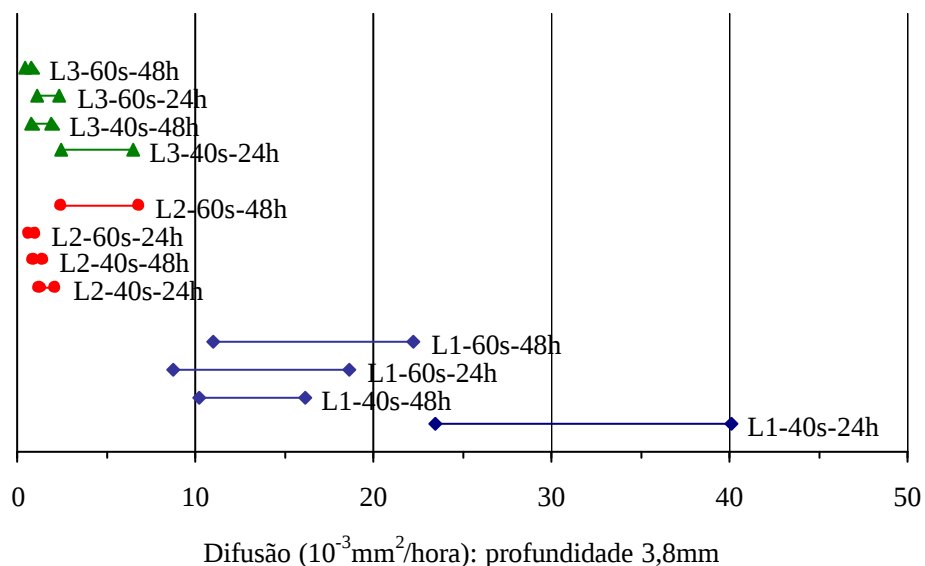


FIGURA 27- Representação gráfica dos intervalos de 95% de confiança para a média real de difusão na profundidade de medição 3,8 mm, para as resinas: micropartícula (1), híbrida (2) e compactável (3) polimerizadas com LEDs, de acordo com o tempo de polimerização e de imersão.

DISCUSSÃO

DISCUSSÃO

Pelo observado na literatura, a utilização de corantes na área de dentística restauradora tem sido bem aceita pelos cientistas, devido às vantagens que oferecem os mesmos quanto a seu fácil manuseio, bem como às baixas concentrações ou pequenas quantidades de material necessárias para obter imagens com contrastes adequados; resultados que têm sido cientificamente consistentes e respaldados por trabalhos independentes.

A incorporação de determinados corantes na composição de alguns materiais restauradores e a excitação dos mesmos com comprimentos de onda específicos, favorecem a visualização de áreas de difícil análise, devido às características de fluorescência de tais substâncias.

Alguns deles como amarelo lucifer, fluorescina de sódio, pirometano 556 e rodamina B e 6G, possuem esta característica de fluorescência: propriedade que tem uma substância de absorver luz num comprimento de onda e emití-la em forma de luminescência em outro comprimento de onda.

Dentre as metodologias odontológicas que tem sido beneficiadas com o uso destes corantes orgânicos se encontram: a medição da espessura da camada híbrida,^{9,10,20,21,24,26} microinfiltração,^{3,17} avaliação da penetração de adesivos na dentina e esmalte,²⁰ micropermeabilidade dos adesivos aos fluidos pulpare,¹⁰ detecção de cáries^{27,31} e profundidade de polimerização de resinas compostas⁸, entre outros.

No caso dos sistemas adesivos, a avaliação através do microscópio eletrônico de varredura fornece dados importantes para o estudo da camada

híbrida. Já o uso de corantes, permite a caracterização da penetração individual tanto do primer como do próprio adesivo no interior de tecido dentário, o que não é permitido pela técnica do MEV.^{10,21} Basicamente, estes trabalhos^{9,21} fundamentam-se na incorporação de diferentes corantes no primer (rodamina B) e/ou no adesivo (fluorescina), e posterior avaliação sob microscopia de laser confocal, que produz imagens específicas para cada componente, revelando de forma clara a formação de tags de resina^{10,21}, e a falta de continuidade da camada de primer em dentina.⁹ Embora, esses achados não interferiram com as propriedades de adesão, esses dados interessantes só foram observados através da análise por fluorescência.

O uso de corantes na detecção de cárie, tem sido um aliado forte para facilitar a eliminação de tecido infectado durante os procedimentos clínicos. Cientificamente, este método é considerado ferramenta útil para a avaliação *in vitro* de lesões de cárie, quando corantes fluorescentes como a rodamina penetram na porosidade de lesões cariosas de esmalte, permitindo uma fácil avaliação histológica, situação difícil de ser realizada por métodos baseados na avaliação através de luz polarizada, uma vez que os cortes necessários para tal avaliação são extremamente finos,²⁸ resultando em um número excessivo de amostras perdidas.

Por outro lado, para avaliar as propriedades de resinas compostas auto e fotopolimerizáveis, alguns pesquisadores⁸ tem utilizado corantes para evidenciar dentre outras coisas, a região não polimerizada das mesmas. Embora não tenham testado estas propriedades através da fluorescência, esta técnica mostrou resultados aceitáveis. De acordo com estes autores, não foi possível analisar a relação entre a intensidade do corante e a eficiência de polimerização, o que talvez

poderia ter sido alcançado através do estudo do espectro de fluorescência. Mesmo assim, puderam perceber que o corante (Astra Blue) se depositou somente nos lugares onde o grau de polimerização foi menor, sugerindo que houve algum tipo de reação entre os monômeros da matriz orgânica e as moléculas do corante. Muito embora o tipo de união entre o corante e as fases da resina composta não tenha sido objeto de avaliação desse estudo, os autores acreditam que houve uma forte ligação entre a fase orgânica e o corante, uma vez que o mesmo persistiu após a lavagem das amostras com água corrente.

A partir destas considerações, deduzimos que poderia existir relação direta entre os fatores que influenciam a polimerização de resinas compostas e a penetração de corantes nas mesmas, uma vez que estes fatores determinam a quantidade de monômeros disponíveis e o arranjo molecular do material avaliado. Testes com a utilização de corantes específicos permitiriam a avaliação de tais características através de fluorescência, o que poderia fornecer dados consistentes e precisos, uma vez que em regiões com maior intensidade de fluorescência poderia indicar menor grau de conversão de monômeros, o que não é evidenciado pela simples presença ou ausência de corante.

É indispensável dizer que, para garantir este tipo de avaliação, existe a necessidade de realizar estudos prévios para conhecer o tipo de ligação entre corante/resina, bem como a seleção de corantes de acordo a seu espectro de emissão, quantidade ou concentração a ser utilizada, tipo de solvente, tempo de imersão e coeficiente de difusão do corante na resina, entre outros.

Neste trabalho, primeiramente realizamos alguns testes preliminares para a escolha do corante que melhor desempenho tivesse junto à resinas compostas. Para isso, trabalhamos com corantes bastante utilizados na área científica, como Rodamina B e Rodamina 6G, dos quais, o último teve melhor fluorescência quando excitado tanto com comprimentos de onda na faixa do verde (518 ± 10 nm) ou do azul (470 ± 10 nm). Já no caso da seleção do solvente, testamos vários tipos de álcool dos quais o etilenoglicol foi o que provocou menor degradação da resina composta menos polimerizada. Quanto à concentração da solução de rodamina 6G em etilenoglicol, a mais adequada foi de 0,1%, já que acima disso, ocorria uma super saturação de corante na amostra quando excitado, dificultando a leitura da intensidade de fluorescência. Da mesma forma, testamos vários tempos de imersão no corante, 1, 2, 4, 10, 20 dias dos quais, observamos que com mais do que 2 dias de imersão ocorria também uma saturação que impedia a leitura da intensidade de fluorescência.

Além disso, durante o teste piloto, quando foi evidente que o corante ficava depositado exclusivamente nas regiões mais profundas dos corpos de prova (nos milímetros 3 e 4), realizamos a tentativa de analisar o tipo de ligação que ocorria entre a rodamina 6G e a resina composta menos polimerizada, utilizando o teste de ressonância magnética. Para nossa surpresa, no momento de dissolver o corpo de prova na acetona dentro do aparelho de ultra-som, depois de 5 minutos todo o corante tinha saído do interior da amostra sem dar tempo de dissolver a resina composta. Esse fato nos levou a abandonar o teste e a sugerir que, não aconteceu uma forte ligação entre a matriz orgânica da resina composta e as moléculas de

rodamina 6G, e só talvez a difusão do corante no interior da região menos polimerizada dos corpos de prova.

Devido ao número reduzido de trabalhos específicos, ficava evidente a necessidade de analisar mais a fundo os fatores que influenciam a difusão deste corante no interior de resinas compostas. Acreditamos na hipótese de que além do tempo de imersão no corante, os mesmos fatores que influenciam na profundidade de polimerização de resinas compostas podem influenciar na difusão da Rodamina 6G no interior das mesmas, uma vez que, quanto menos polimerizada esteja uma resina, menor contração volumétrica haverá pelo número reduzido de ligações monoméricas e o material será menos denso, o que poderia permitir a difusão de substâncias nessas regiões.

Se estas hipóteses forem confirmadas, poderíamos estar frente a uma metodologia alternativa de avaliação da profundidade de polimerização de resinas compostas, bem como de análise da vulnerabilidade das mesmas à corantes orgânicos.

Sendo assim, consideramos de grande importância realizar esta discussão confrontando nossos resultados com os fatores que influenciam a profundidade de polimerização de resinas compostas.

Para isso, sentimos a necessidade de tentar facilitar ao máximo a análise dos resultados através de modelos estatísticos específicos, que nos permitissem comparar os resultados em todas as situações, já que de outra forma seria quase impossível, devido ao número de fatores a serem estudados.

Primeiramente, foi realizada a análise de regressão com o intuito de avaliar se a difusão do corante variava em função da profundidade do corpo de prova, e como pode ser confirmado nos resultados, independente do tipo de fonte de luz e da resina utilizada, a difusão sempre foi maior à medida que a profundidade de análise no corpo de prova aumentava. Isto pode ser confirmado ao analisarmos os resultados do teste F da análise de variância em todas as tabelas do Apêndice A e B, onde se observa claramente que houve diferença significativa a nível de 5%, indicando assim que há evidência de regressão linear em todas as situações.

De igual forma, pôde-se observar nas mesma tabelas, através dos resultados do Teste F, que não houve evidência de falta de ajuste na regressão linear, indicando que o modelo estatístico utilizado neste trabalho foi adequado.

Por outro lado, se consideramos que os mesmos fatores que influenciam a profundidade de polimerização de resinas compostas podem influenciar o coeficiente de difusão do corante no interior das mesmas, devemos citar que, de acordo com a literatura aqui referida, esses fatores podem ser: composição do material,³¹ tamanho e quantidade de partículas de carga,^{23,31} cor,^{13,24} coeficiente de transmissão de luz da matriz e partículas,³¹ grau de dispersão da luz,³¹ profundidade da cavidade,^{24,29} fonte e tempo de exposição à luz, intensidade^{4,5,12,14,15,16,22,30,31} e distância da ponta do aparelho à superfície da restauração,^{24,29,31} entre outros.

No caso do tipo de fonte de luz, nos últimos anos tem tomado especial atenção o desenvolvimento dos sistemas à base de LED (emissão de luz por diodo). Estes compensaram algumas desvantagens das lâmpadas halógenas, devido à eliminação de bulbos e filtros, aumentando o tempo de vida útil para mais de 10,000

horas com pouca degradação (Halógena 50 horas/ JISC 752), oferecendo maior resistência a choques e vibração, menor geração de calor e consumo de energia, entre outras.¹⁹

O sistema LED produz luz por eletroluminescência, pela combinação radioativa do elétron e o "buraco" na união p-n de um semicondutor para produzir um fóton. O LED produz fótons de alta energia direto na região azul do espectro visível.

Diferentemente, a lâmpada halógena produz luz por incandescência, quando o filamento do bulbo é aquecido e causa a excitação de átomos sobre uma ampla distância de níveis de energia, produzindo um espectro muito longo, necessitando assim, de um filtro para limitar a emissão de luz na região azul do espectro visível.¹⁹ Por outro lado, segundo Fujibayashi et al.⁷, a temperatura perto do bulbo aumenta para aproximadamente 400°C, o que produz uma perda de potência do aparelho em torno de 70% e conseqüentemente, só 10% da energia elétrica é utilizada para a emissão de luz visível.¹¹ Além disso, a intensidade da lâmpada halógena diminui para 10%, devido à utilização do filtro.⁶

Segundo alguns autores,^{6,18,19} devido ao estreito espectro de emissão de luz que apresenta o sistema LED e a coincidência do pico máximo de emissão com o pico máximo de absorção da canforquinona (468-470 nm), este sistema pode provocar uma maior profundidade de polimerização, mesmo com uma menor intensidade quando comparado com a lâmpada halógena.

Neste ponto, discordamos com os autores, porque se em nossos resultados foi evidente que a difusão do corante foi maior nas regiões menos polimerizadas (3

e 4 mm), foi também evidente que o grau de difusão foi maior também nas amostras polymerizadas com o sistema LEDs do que com a Halógena. Isto nos leva ao entendimento que o sistema LEDs utilizado neste trabalho, produziu uma menor polymerização das resinas devido à pouca intensidade emitida pelo aparelho (175 mW/cm^2), quando comparado com a halógena (565 mW/cm^2), demonstrando que não só a pureza da luz azul é importante para o processo de polymerização de resinas, mas também a intensidade produzida pelo aparelho.

Vários autores,^{4,5,12,14,15,16,22,30,31} concordam com que o grau de polymerização das resinas compostas é dependente da intensidade de irradiação e do tempo de exposição à luz.

A intensidade de luz, representa a quantidade de fótons fornecidos à resina por unidades de tempo, referente à área iluminada. Já o tempo de exposição, não representa o período que a luz precisa para penetrar e polymerizar, mas sim, o tempo que a luz precisa para chegar ao seu pico máximo de intensidade e assim promover a reação de polymerização.¹⁴

Normalmente o aumento do tempo de irradiação aumenta também a profundidade de polymerização, contudo, isto não tem uma relação linear direta, já que uma vez que o nível máximo de polymerização tenha sido alcançado na camada mais superficial de resina, é difícil que a polymerização se estenda a níveis mais profundos quando se aumenta o tempo, já que simplesmente a luz não consegue alcançar esses locais.³¹ Isto é coerente com o exposto por Ruyter & Øysæd,²³ quando relatam que durante a polymerização aumenta a densidade do material, o

que por sua vez aumenta o índice de refração da fase orgânica da resina, diminuindo assim a profundidade de polimerização.

Este fato também concorda com os resultados encontrados por Rueggeber et al.²², onde observaram que na camada superficial das amostras de compósitos, uma baixa intensidade de luz pode polimerizar a matriz de resina da mesma forma que altas intensidades de energia. No entanto, durante a passagem da luz através do volume de resina há uma diminuição dessa intensidade, diminuindo também o grau de polimerização. Segundo os autores, para a camada superficial só o tempo de exposição foi fator significativo na conversão de monômeros; já quando a polimerização ocorria até 1 mm de profundidade, os fatores tempo de exposição e intensidade, foram significantes. Nos níveis de 2 e 3 mm de profundidade, ambos fatores e suas combinações contribuíram a polimerização das resinas.

Quando utilizadas intensidades de energia de 200 e 300 mW/cm² por 20 segundos, as amostras de 2 e 4 mm realizadas por Yap e Seneviratne³⁰, mostraram adequados valores de dureza na superfície de topo, mas para alcançar valores aceitáveis na superfície de base, foi necessário aumentar o tempo para 120 segundos, ou aumentar a intensidades para 500 e 600 mW/cm² por tempos de 30 e 20 segundos respectivamente, tudo com lâmpada halógena.

O trabalho de Davidson e Gee⁴, demonstra que a absorção de energia pela camada mais superficial da resina influi na redução da profundidade de polimerização, já que a uma profundidade de 0,2 mm houve uma redução da intensidade da luz de 25%, em 0,5 mm de profundidade a redução foi de 50% e a 1 mm a redução foi de 75%.

Da mesma forma, Burgess, et al.², mostraram que a transmissão de luz é diminuída exponencialmente quando esta atravessa a massa de resina composta, sendo que numa profundidade de 2 mm, somente 9 a 17% da luz é transmitida, e a 3 mm diminui para 2 a 8%.

Ao mesmo tempo, Kurachi et al.¹⁴, demonstraram que irradiações com baixas intensidades de energia (6 LEDs / 79 mW/cm²), precisam de um tempo maior de irradiação (100 segundos) para alcançar valores adequados de polimerização a uma profundidade de 1,8 mm, o que em condições clínicas poderia ser uma situação inviável.

Em nosso trabalho, quando observamos as figuras 19 a 21 e 25 a 27, onde estão representados de forma gráfica os intervalos de 95% de confiança para as médias reais de difusão a cada milímetro de profundidade, para todos os tipos de resina, observamos claramente as diferenças entre o coeficiente de difusão para cada fonte de luz através da escala gráfica, sendo o sistema LEDs o que apresentou maiores valores de difusão.

Podemos pensar também que, além da menor intensidade produzida pelo LEDs, a menor produção de calor pelo sistema poderia ter influenciado no menor grau de polimerização das resinas compostas, sem esquecer que essa diminuição térmica é considerada como uma vantagem clínica.

Ainda nessas figuras e nas tabelas de 1 a 6, quando comparamos as amostras nos mesmos tempos de imersão em corante, se observa na maioria dos casos a tendência de diminuir a difusão quando se utilizou o tempo de polimerização de 60 segundos, sugerindo que com este tempo de irradiação se

alcançaram melhores níveis de polimerização das resinas, a exceção dos grupos H2, H3 e L2 nos tempos de 48 horas de imersão.

Quanto ao tipo de material, Leonard et al.¹⁵, mostraram que para incrementos de 2 mm de resina composta polimerizadas com lâmpada halógena, foram necessários 260,1 mW/cm² por 40 segundos ou 185 mW/cm² por 60 segundos para alcançar uma polimerização satisfatória na resina híbrida (Z100). No caso da resina de micropartícula (Silux Plus) foi necessário utilizar intensidades de 542,9 mW/cm² por 40 segundos ou 449 mW/cm² por 60 segundos, confirmando que por causa da dispersão da luz das resinas de micropartículas, é necessário aumentar a intensidade de energia para alcançar valores adequados de polimerização, quando comparados com as híbridas, no mesmo tempo.

Segundo Yearn,³¹ é esperado que a composição química própria das resinas seja fator importante na determinação do grau de polimerização, já que não é só o tipo de matriz utilizado que difere entre algumas resinas, mas também diferentes combinações de iniciadores e catalisadores.

A principal variável na composição de resinas, que determina a polimerização alcançada, são as propriedades ópticas da matriz e partículas de carga.³¹

Kawaguchi et al.¹³ acreditam que o coeficiente de transmissão da luz de uma resina, pode ser controlado pelo tipo e conteúdo de pigmentos na mesma. Isso foi confirmado no trabalho de Swartz et al.²⁴, quando o grau de polimerização das resinas variou com a cor das mesmas, sendo que para as mais escuras foi

necessário aumentar o tempo de exposição a luz para alcançar níveis aceitáveis de dureza.

Em nosso trabalho, apesar dos diferentes tipos de resina que foram escolhidos (micropartícula, híbrida e compactável), para evitar a influência da cor no processo de polimerização das mesmas, foi escolhida uma única cor, para todas elas: A3.

Quanto ao tipo de resinas utilizadas em nosso experimento, existem diferenças que devem ser salientadas, as quais podem ser responsáveis no grau de polimerização das mesmas e, por conseguinte, no coeficiente de difusão de corante.

No caso das resinas Filtek A110 (3M[®]) e Z100 (3M[®]) segundo o fabricante, a matriz orgânica de ambas é formada por BIS-GMA (Bisfenol-A diglicidil éter dimetacrilato) e TEGDMA (Trietileno glicol dimetacrilato), com a diferença entre elas no conteúdo e tamanho de partículas, sendo que a Filtek A110 possui 40% em volume de carga de partículas de sílica de tamanho aproximado de 0,04µm, razão pela qual é chamada de *resina de micropartículas*, e para a Z100, possui volume de carga de 71% de partículas de zircônio/sílica, com vários tamanhos até o máximo de 4,5µm, pelo qual é chamada de *resina híbrida*.

Já a resina Filtek P60 (3M[®]), contém diferente tipo de matriz orgânica do que as outras resinas: BIS-GMA (Bisfenol-A diglicidil éter dimetacrilato), UDMA (uretano dimetacrilato) e BIS-EMA (Bisfenol Apolietileno glicol dieter dimetacrilato), que são monômeros de alto peso molecular que alteram a viscosidade do material, sendo a razão do nome de *resina compactável*, por permitir uma compactação vigorosa nas cavidades. Ela possui um volume de carga de 61% com um tamanho médio de

partículas de zircônio/sílica na faixa de 0,19 e 3,3 μ m, podendo ser classificada também como *resina híbrida*.

Estas desigualdades entre as matrizes resinosas e o tamanho e conteúdo de partículas das resinas utilizadas, podem ser também responsáveis pelos diversos valores no coeficiente de difusão obtidos no nosso trabalho, em decorrência das diferentes profundidades de polimerização produzidas para cada tipo de resina composta.

Segundo alguns autores³¹, utilizando a mesma combinação de partículas e resina, pode ocorrer diferenças na transmissão da luz se o tamanho das partículas de carga é diferente, já que isto pode influenciar na dispersão da luz. Ruyter & Øysæd²³ sugerem que a dispersão da luz é maximizada quando o tamanho das partículas é metade do comprimento de onda da luz incidente. A maioria das lâmpadas disponíveis no mercado tem seu pico máximo de emissão no comprimento de onda entre 450 a 500 nm, portanto, o tamanho de partículas que corresponde à metade do comprimento de onda é ao redor de 0,25 μ m.

Para o caso das resinas utilizadas em nosso experimento, nenhuma delas possui este tamanho de partículas, ao contrário, elas variam entre 0,04 a 4,5 μ m, podendo esperar então maior dificuldade de polimerização por uma maior dispersão de luz.

Por outro lado, analisando mais uma vez as figuras 19 a 21, que é o caso das resinas polimerizadas com lâmpada halógena, observamos que a resina micropartícula (Filtek A110) teve maior difusão de corante quando comparada com a resina híbrida (Z100) em todas as situações, nas profundidades de 3 e 3,8 mm. Isto

é coerente com os dados da literatura ao referir-se que em profundidades maiores do que 2 mm, há uma menor profundidade de polimerização deste tipo de resinas, devido à dispersão da luz pelo tamanho pequeno das partículas, mesmo que com intensidades de energia aceitáveis. Já na profundidade de 2 mm, não houve evidência de difusão de corante, indicando que a esta profundidade houve uma boa polimerização da resina micropartícula com a lâmpada Halógena.

No caso da polimerização com sistema LEDs, nas figuras 25 a 27, observamos que a resina micropartícula (A110) também teve maior difusão de corante em todas as profundidades analisadas, quando comparada com a híbrida (Z100), em escala muito maior quando comparada com as polimerizadas com halógena. Além da dispersão da luz que pode ter ocorrido no caso da resina micropartícula, também a menor intensidade produzida pelo LEDs pode ter influenciado para obter esses resultados tão diferentes com a mesma resina.

No trabalho de Kawaguchi et al.¹³, observou-se uma significativa correlação entre o coeficiente de transmissão e a profundidade de polimerização, já que a resina de micropartícula utilizada (Silux Plus), teve o menor coeficiente de transmissão e a menor profundidade de polimerização quando comparada com as resinas de partículas pequenas e híbridas. No entanto, salientaram que a ampla distribuição de tamanho de partícula nas resinas híbridas, pode causar uma complexa dispersão da luz na resina composta, resultando numa diminuição no coeficiente de transmissão. Da mesma maneira, a composição das resinas híbridas, pode provocar diferença no índice de refração entre a matriz resinosa e as partículas. Normalmente, a matriz das resinas é BIS-GMA, contudo, a composição

das partículas consiste em vários tipos de silicatos de vidro que contêm Al, Ba, Ti e Zr, e além disso, o conteúdo varia de 66,7 a 85,9% em peso.

Em nosso experimento, no caso da resina compactável polimerizada com lâmpada halógena (figuras 19 a 21), podemos observar que foi a que apresentou pior comportamento quanto à difusão, já que obteve os maiores valores, independente da profundidade e tempos de polimerização, quando comparada com as resinas de micropartícula e híbrida.

Este resultado pode sugerir que, apesar da resina P60 também ser uma resina híbrida, mas apresentar menor volume de partículas do que a Z100, o fato dela possuir uma matriz orgânica diferente e mais viscosa, pode ter influenciado na profundidade de polimerização, embora esta hipótese ainda não tenha sido confirmada pela literatura. Além disso, como exposto anteriormente pelos autores¹³, uma ampla distribuição de tamanho de partícula nas resinas híbridas (no caso da compactável vai de 0,01 a 3,50 μ m), pode causar uma complexa dispersão da luz na resina composta, resultando numa diminuição no coeficiente de transmissão, e portanto, uma menor profundidade de polimerização da resina.

Já quando a resina compactável foi polimerizada com sistema LEDs (figuras 25 a 27), ela obteve melhor comportamento quando comparada com a resina micropartícula, porque apresentou menores valores de difusão, mas se manteve com resultados inferiores em comparação com a híbrida, seguindo a tendência do ocorrido com a lâmpada halógena, sem esquecer que existe uma diferença muito grande entre as escala.

Por outro lado, segundo Ruyter & Øysæd,²³ o índice de refração do meio orgânico aumenta durante a polimerização já que é dependente da densidade do material. Durante a união dos radicais livres na polimerização, a densidade do material aumenta devido à contração de volume resultante, portanto, este aumento no índice de refração da fase orgânica pode também influenciar a profundidade de polimerização.

Apesar de em nosso trabalho não ter sido avaliado o coeficiente de transmissão das resinas utilizadas nem o índice de refração do meio orgânico, podemos observar alguma coerência com o exposto anteriormente pelos autores, já que em todas as situações, independente do tipo de resinas e da fonte de luz, à medida que aumentava a profundidade, aumentava também a difusão do corante, indicando que em regiões mais profundas houve um menor grau de polimerização. Isto foi evidente na maioria das resinas no momento da confecção dos corpos de prova, já que as amostras ficavam um pouco "pegajosas" na sua base (4 mm), indicando a falta de uma completa polimerização. Provavelmente porque, como citado pelos autores, à medida que a resina vai polimerizando em suas camadas mais superficiais, a densidade do material aumenta devido à contração de volume resultante das ligações monoméricas, dificultando a passagem de luz até lugares mais profundos.

A escolha de confeccionar corpos de prova maiores do que 2 mm de espessura, foi precisamente para tentar confirmar a nossa hipótese inicial, de que em regiões menos polimerizadas (3 e 4 mm) ocorreria uma maior difusão de

corante, e como observado pelos resultados obtidos neste estudo, esta teoria se confirma.

Por outro lado, quando analisamos o tempo de imersão no corante, podemos verificar que a tendência na maioria dos casos, independente do tipo de resina, tempo de polimerização ou fonte de luz, sempre foi a haver uma maior difusão nas primeiras 24 horas de imersão, exceto no caso das resinas híbrida (Z100) e micropartícula (A110) polimerizadas com sistema LEDs e na compactável (P60) polimerizada por halógena, todas no tempo de 60 segundos, onde em qualquer profundidade houve uma maior difusão de corante nas 48 horas de imersão.

Isto nos sugere que, na maioria das resinas, não são necessários tempos de imersão em corante maiores do que 24 horas, podendo partir desde dado para avaliar menores tempos de imersão.

No caso dos grupos L1, L2 e H3 polimerizadas por 60 segundos, recomendamos a realização de mais testes para sugerir razões para essa diferença e o tempo adequado de imersão para avaliação.

Até aqui temos avaliado o coeficiente de difusão nas resinas, mas neste experimento através do modelo estatístico desenvolvido para este trabalho, foi possível também calcular a estimativa da taxa de variação da difusão a cada milímetro de profundidade, em outras palavras, a velocidade com que o corante difunde em cada milímetro do corpo de prova. Este fato pode ser melhor observado nas tabelas de 1 a 6, onde estão descritos os valores médios previstos da difusão, a taxa de variação da difusão em cada profundidade e os respectivos limites inferiores e superiores dos intervalos de confiança de 95% para os valores reais relativos a

todas as resinas, de acordo com os tempos de polimerização e imersão, e as respectivas fontes de luz.

Analisando as tabelas citadas, podemos comprovar que a taxa de variação da difusão é mais rápida nas regiões mais profundas, independente do tipo de material, tempo de polimerização e fonte de luz, indicando que quanto menos polimerizada esteja a resina, a difusão será mais rápida nessas regiões.

No que se refere ao tempo de imersão em corante nas amostras polimerizadas com lâmpada halógena, a taxa de variação também é maior nas primeiras 24 horas de imersão, o que nos indica que há uma difusão mais rápida nesse período de tempo do que durante 48 horas, também independente do material, tempo de polimerização e profundidade avaliada.

Já no caso das resinas polimerizadas por sistema LEDs, a taxa de variação da difusão segue a mesma tendência observada nos corpos de prova polimerizados por luz halógena quanto ao tempo de imersão, exceto quando utilizadas as resinas híbrida (Z100) e micropartícula (A110) no tempo de polimerização de 60 segundos, onde a velocidade é maior nas 48 horas de imersão.

Estes resultados podem ser analisados de uma forma mais clara, através da observação da inclinação da reta, nas figuras 16 a 18 que correspondem aos gráficos do logaritmo da difusão em função da profundidade de medição, para cada resina composta polimerizada com lâmpada halógena, e nas figuras 22 a 24 que correspondem aos gráficos do logaritmo da difusão em função da exponencial da profundidade de medição, para cada resina composta polimerizada com sistema

LED. A inclinação das linhas de regressão indicam que, quanto maior a inclinação da reta, maior velocidade de difusão nas resinas.

Com estes resultados da análise do coeficiente de difusão de corante no interior de resinas compostas polimerizadas com duas fontes de luz, podemos sugerir que essa difusão de solução de rodamina 6G a 0,1% em etilenoglicol, está relacionada de forma direta com os fatores que interferem na polimerização de resinas compostas, bem como, que o método de avaliação de espectroscopia de fluorescência utilizado neste trabalho, pode ser um procedimento bastante promissor na dentística restauradora. Isto, devido a sua facilidade de utilização e, o mais importante, pelos dados que são fornecidos quando explorado o espectro de fluorescência de substâncias específicas, podem contribuir para a realização de análises de profundidade de polimerização de resinas compostas, bem como, para a quantificação da vulnerabilidade físico-química das mesmas à corantes orgânicos.

CONCLUSÃO

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, podemos concluir que:

1. A espectroscopia de fluorescência é um método eficiente para avaliar a difusão de corante no interior de resinas compostas.
2. A difusão de corante é influenciada diretamente pelo tipo de resina, sendo a resina híbrida (Z100) a que mostrou melhor comportamento quando comparada com resina de micropartícula (Filtek A110) ou condensável (P60).
3. A lâmpada halógena determinou difusão significativamente menor nos corpos de prova testados, do que os polimerizados pelo sistema LEDs, independente do tipo de resina utilizada.
4. Há uma tendência do coeficiente de difusão ser inversamente proporcional ao tempo de polimerização, independente do aparelho ou resina utilizada.
5. Na maioria dos casos, o tempo de 24 horas de imersão foi suficiente para avaliar a difusão de corante pelo método de espectroscopia de fluorescência.
6. A difusão de corante orgânico aumenta progressivamente em direção às regiões menos polimerizadas da resina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAUER, J. G. & HENSON, J. L. Microleakage: a measure of the performance of direct filling materials. **Oper. Dent.** Seattle, v.9, n.1, p.2-9, 1984.
2. BURGESS, J.O.; WALKER, R.; DAVIDSON, J. M. Posterior resin-based composite: review of the literature. **Pediatric Dent.**, Illinois, v.24, n.5, p.465-479, 2002.
3. CHRISTEN, A. G.; MITCHELL, D. F. A fluorescent dye method for demonstrating leakage around dental restorations. **J. Dent. Res.** Washington D.C., v.45, n.5, p. 1485-1492, sept./oct. 1966.
4. DAVIDSON, C. L.; GEE, A. J. Ligth-curing units, polymerization and clinical implications. **J. Adhesive Dent.** New Maldin, v.2, p.167-173, 2000.
5. DUNN, W. J.; BUSH, A. C. A comparision of polymerization by lighth-emitting diode and halogen-based lighth-curing units. **J. Am. Dent. Assoc.** Chicago, v.133, n.3, p.335-341, 2002.
6. FUJIBAYASHI, K. et al. Newly developed curing unit using blue lighth- emmitting diodes. **Dentistry in Japan**, v.34, p. 49-53, march, 1998.
7. FUJIBAYASHI, K. et al. Study on cordless lighth curing units. **Tsurumi Univ. Dent. J.** v.19, p.107-116, 1993. (in Japanese, English abstract). *Apud.* FUJIBAYASHI, K. et al. Newly developed curing unit using blue lighth- emmitting diodes. **Dentistry in Japan**, v.34, p. 49-53, march, 1998.
8. GEE, A. J.; HARKEL-HAGENAAR, E.; DAVIDSON, C. L. Color dye for identification of incompletely cured composite resins. **J. Prosthet. Dent.** Philadelphia, v.52, n.5, p.626-631, 1984.

9. GRIFFITHS, B. M.; WATSON, T. F. Resin-dentin interface of Scotchbond Multi-Purpose dentin adhesive. **Am. J. Dent.** San Antonio, v.8, n.4, p.212-216, 1995.
10. GRTIFFITHS, B. M.; WATSON, T. F.; SHERRIFF, M. The influence of dentin bonding system and their handling characteristics on the morphology and micropermeability of the dentine adhesive interface. **J. Dent.** Guildford, v.27, n.1, p.63-71, 1999.
11. HONDA, K. Incandescent lamp. *In* Lighting handbook, edited by Lighting Association, Ohmu-sha, Tokyo, 1994, p.129-134. (in Japanese). *Apud*. FUJIBAYASHI, K. et al. Newly developed curing unit using blue lighth- emitting diodes. **Dentistry in Japan**, v.34, p. 49-53, march, 1998.
12. JANDT, K. D. et al. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue lighth emitting diodes (LEDs). **Dent. Mater.** Copenhagen, v.16, n.1, p.41-47, 2000.
13. KAWAGUCHI, M.; FUKUSHIMA, T.; MIYAZAKI, K. The relationship between cure depth and transmittion coefficient of visible-lighth-activated resin composites. **J. Dent. Res.** Washington D.C., v.73, n.2, p.516-521, feb. 1994.
14. KURACHI, C., et al. Hardness evaluation of dental composite polymerized with experimental LED-based devices. **Dent. Mater.** Copenhagen, v.17, n.4, p.309-315, 2001.
15. LEONARD, D. L. et al. Determination of the minimum irradiance required for adequate polymerization of a hibrid and microfill composite. **Oper. Dent.** Seattle, v.26, p.176-180, 2001.

16. LEUNG, R. L.; FAN, P. L.; JOHNSTON, W. M. Post-irradiation polymerization of visible light-activated composite resin. **J. Dent. Res.** Washington D.C., v.62, n.3, p.363-365, mar., 1983.
17. MANNOCCI, F.; FERRARI, M; WATSON, T. F. Microleakage of endodontically treated teeth restored with fiber posts and composite cores after cyclic loading: A confocal microscopic study. **J. Prosthet. Dent.** Philadelphia, v.85, n.3, p. 284-291, 2001.
18. MILLS, R. W. et al. Light emitting diode (LED) and halogen curing- composite depth of cure. **J. Dent. Res.** Washington D.C., v.78, n.5, p.1053, abstract 147, 1999.
19. MILLS, R. W.; JANDT, K.D.; ASHWORTH, S.H. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. **Br. Dent. J.** London, v.186, n.8, p.388-391, 1999.
20. PIOCH, T. et al. Applications of confocal laser scanning microscopy to dental bonding. **Adv. Dent. Res.** Washington D.C., v.11, n.4, p. 453-461, nov. 1997.
21. PIOCH, T. et al. Influence of different etching times on hybrid layer formation and tensile bond strength. **Am. J. Dent.** San Antonio, v.11, p.202-206, 1998.
22. RUEGGEBERG, F. A.; CAUGHMAN, W. F.; CURTIS Jr, J. W. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. **Oper. Dent.** Seattle, v.19, n.1, p.26-32, 1994.
23. RUYTER, I. E.; ØYSÆD, H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. **Acta Odontol. Scand.** Oslo, v.40, n.3, p.179-192, 1982.

24. SWARTZ, M. L.; PHILLIPS, R. W.; RHODES, B. Visible lighth-activated resins - depth of cure. **J. Am. Dent. Assoc.** Chicago, v. 106, n.5, p. 634-637; may. 1983.
25. WATSON, T. F. & BOYDE, A. The use of fluorescent markers for studying the distribution of a dentin bonding agent between a composite restoration and tooth. **Clinical Materials**, v.2, p.45-53, 1987.
26. WATSON, T. F. A Confocal Optical Microscope study of the morphology of the tooth/restoration interface using Scotchbond 2 Dentin Adhesive. **J. Dent. Res.** Washington D.C., v.68, n.6, p.1124- 1131, june 1989.
27. WATSON, T. F.; BILLINGTON, R. W.; WILLIAMS, J. A. The interfacial region of the tooth/glass ionomer restoration: A confocal optical microscope study. **Am. J. Dent.** San Antonio, v.4, n.6, p.303-310, 1991.
28. WATSON, T. F.; BOYDE, A. Confocal lighth microscopic techniques for examining operative procedures and dental materials. **Am. J. Dent.** San Antonio, v.4, n4, p.193-200, August, 1991.
29. YAP, A. Effectiveness of polymerization in composite restoratives claiming bulk placement: impact of cavity depth and exposure time. **Oper. Dent.** Seattle, v.25, n.2, p.113-120, 2000.
30. YAP, A.; SENEVIRATNE, C. Influence of lighth energy density on effectiveness of composite cure. **Oper. Dent.** Seattle, v.26, n.5, p.460-466, 2001.
31. YEARN, J. A. Factors affecting cure of visible lighth activated composites. **Int. Dent. J.** London, v.35, n.3, p.218-225, 1985.
32. ZANDONÁ, A. G. F. et al. Effect of two fluorescent dyes on color of restorative materials. **Am. J. Dent.** San Antonio, v.10, p.203-207, 1997.

APÊNDICE

APÊNDICE

Apêndice A: Resultado do ajuste de retas de regressão aos valores de logaritmo de difusão em função da profundidade nos corpos-de-prova polymerizados com luz Halógena.

TABELA A1- Estimativas, erro padrão, limite inferior (L.I.) e limite superior (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para o Coeficiente angular (k) e coeficiente linear (ln(a)) da reta de regressão do logaritmo da difusão contra a profundidade no corpo de prova, em mm; estatísticas dos testes F para a regressão e falta de ajuste (com os respectivos valores de probabilidade p) e coeficiente de determinação (r^2), considerando a *polimerização com luz Halógena (H)* e a *resina micropartícula (1)* nas combinações de tempos de polimerização (40s e 60s) e de imersão (24h e 40h).

Material	Coeficiente	Estimativa	p	Erro Padrão	I.C. (95%)	
					L.I.	L.S.
H1-40s-24h	k	0,469		0,050	0,362	0,577
	Ln(a)	-0,946		0,151	-1,272	-0,620
	F(regressão)	88,706	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,088	0,772			
	r^2	0,872				
H1-40s-48h	k	0,334		0,103	0,231	0,438
	Ln(a)	-0,666		0,313	-0,978	-0,353
	F(regressão)	48,829	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,016	0,902			
	r^2	0,790				
H1-60s-24h	k	0,395		0,160	0,235	0,555
	Ln(a)	-0,849		0,484	-1,334	-0,365
	F(regressão)	28,387	<0,001			
	F(Falta de aj.)	3,672	0,079			
	r^2	0,686				
H1-60s-48h	k	0,244		0,058	0,186	0,303
	Ln(a)	-0,498		0,177	-0,675	-0,321
	F(regressão)	81,475	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,524	0,483			
	r^2	0,862				

TABELA A2- Estimativas, erro padrão, limite inferior (L.I.) e limite superior (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para o Coeficiente angular (k) e coeficiente linear (Ln(a)) da reta de regressão do logaritmo da difusão contra a profundidade no corpo de prova, em mm; estatísticas dos testes F para a regressão e falta de ajuste (com os respectivos valores de probabilidade p) e coeficiente de determinação (r^2), considerando a *polimerização com luz Halógena (H)* e a *resina híbrida (2)* nas combinações de tempos de polimerização (40s e 60s) e de imersão (24h e 40h).

Material	Coeficiente	Estimativa	p	Erro Padrão	I.C. (95%)	
					L.I.	L.S.
H2-40s-24h	k	0,197		0,054	0,080	0,314
	Ln(a)	-0,261		0,164	-0,615	0,092
	F(regressão)	13,232	0,003			
	F(Falta de aj.)	0,637	0,440			
	r^2	0,504				
H2-40s-48h	k	0,131		0,019	0,090	0,172
	Ln(a)	-0,168		0,058	-0,292	-0,043
	F(regressão)	47,556	<0,001			
	F(Falta de aj.)	3,091	0,104			
	r^2	0,785				
H2-60s-24h	k	0,182		0,033	0,111	0,254
	Ln(a)	-0,212		0,100	-0,428	0,004
	F(regressão)	30,435	<0,001			
	F(Falta de aj.)	3,893	0,072			
	r^2	0,701				
H2-60s-48h	k	0,150		0,025	0,096	0,203
	Ln(a)	-0,155		0,075	-0,317	0,007
	F(regressão)	36,381	<0,001			
	F(Falta de aj.)	1,017	0,333			
	r^2	0,737				

TABELA A3- Estimativas, erro padrão, limite inferior (L.I.) e limite superior (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para o Coeficiente angular (k) e coeficiente linear (Ln(a)) da reta de regressão do logaritmo da difusão contra a profundidade no corpo de prova, em mm; estatísticas dos testes F para a regressão e falta de ajuste (com os respectivos valores de probabilidade p) e coeficiente de determinação (r^2), considerando a *polimerização com luz Halógena (H)* e a *resina compactável (2)* nas combinações de tempos de polimerização (40s e 60s) e de imersão (24h e 40h).

Material	Coeficiente	Estimativa	p	Erro Padrão	I.C. (95%)	
					L.I.	L.S.
H3-40s-24h	k	0,691		0,152	0,362	1,020
	Ln(a)	-1,209		0,461	-2,204	-0,214
	F(regressão)	20,578	0,001			
	F(Falta de aj.)	0,271	0,612			
	r^2	0,613				
H3-40s-48h	k	0,315		0,099	0,101	0,528
	Ln(a)	-0,460		0,299	-1,107	0,187
	F(regressão)	10,113	0,007			
	F(Falta de aj.)	0,004	0,950			
	r^2	0,438				
H3-60s-24h	k	0,406		0,091	0,210	0,602
	Ln(a)	-0,820		0,275	-1,413	-0,226
	F(regressão)	19,969	0,001			
	F(Falta de aj.)	0,035	0,854			
	r^2	0,606				
H3-60s-48h	k	0,244		0,117	-0,010	0,497
	Ln(a)	-0,201		0,355	-0,968	0,566
	F(regressão)	4,319	0,058			
	F(Falta de aj.)	0,010	0,921			
	r^2	0,249				

Apêndice B: Resultado do ajuste de retas de regressão aos valores de logaritmo de difusão em função da profundidade nos corpos-de-prova polimerizados com LEDs.

TABELA B1- Estimativas, erro padrão, limite inferior (L.I.) e limite superior (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para o Coeficiente angular (k) e coeficiente linear (ln(a)) da reta de regressão do logaritmo da difusão contra a profundidade no corpo de prova, em mm; estatísticas dos testes F para a regressão e falta de ajuste (com os respectivos valores de probabilidade p) e coeficiente de determinação (r^2), considerando a *polimerização com LEDs* (L) e a *resina micropartícula* (1) nas combinações de tempos de polimerização (40s e 60s) e de imersão (24h e 40h).

Material	Coeficiente	Estimativa	p	Erro Padrão	I.C. (95%)	
					L.I.	L.S.
L1-40s-24h	k	0,081		0,005	0,071	0,091
	Ln(a)	-0,178		0,133	-0,466	0,109
	F(regressão)	305,070	<0,001			
	F(Falta de aj.)	3,214	0,098			
	r^2	0,959				
L1-40s-48h	k	0,064		0,008	0,056	0,072
	Ln(a)	-0,228		0,233	-0,461	0,005
	F(regressão)	288,337	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,293	0,598			
	r^2	0,957				
L1-60s-24h	k	0,069		0,014	0,055	0,082
	Ln(a)	-0,443		0,387	-0,830	-0,056
	F(regressão)	120,877	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,069	0,797			
	r^2	0,903				
L1-60s-48h	k	0,075		0,013	0,062	0,088
	Ln(a)	-0,531		0,367	-0,897	-0,164
	F(regressão)	159,343	<0,001			
	F(Falta de aj.)	1,760	0,209			
	r^2	0,925				

TABELA B2- Estimativas, erro padrão, limite inferior (L.I.) e limite superior (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para o Coeficiente angular (k) e coeficiente linear (Ln(a)) da reta de regressão do logaritmo da difusão contra a profundidade no corpo de prova, em mm; estatísticas dos testes F para a regressão e falta de ajuste (com os respectivos valores de probabilidade p) e coeficiente de determinação (r^2), considerando a *polimerização com LEDs* (L) e a *resina híbrida* (2) nas combinações de tempos de polimerização (40s e 60s) e de imersão (24h e 40h).

Material	Coeficiente	Estimativa	p	Erro Padrão	I.C. (95%)	
					L.I.	L.S.
L2-40s-24h	k	0,022		0,003	0,016	0,028
	Ln(a)	0,002		0,083	-0,177	0,180
	F(regressão)	59,070	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,026	0,874			
	r^2	0,820				
L2-40s-48h	k	0,020		0,002	0,015	0,025
	Ln(a)	-0,107		0,068	-0,255	0,041
	F(regressão)	69,797	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,682	0,425			
	r^2	0,843				
L2-60s-24h	k	0,014		0,001	0,011	0,017
	Ln(a)	-0,008		0,041	-0,097	0,082
	F(regressão)	98,061	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,426	0,526			
	r^2	0,883				
L2-60s-48h	k	0,045		0,007	0,030	0,061
	Ln(a)	-0,374		0,208	-0,822	0,075
	F(regressão)	39,024	<0,001			
	F(Falta de aj.)	1,815	0,203			
	r^2	0,750				

TABELA B3- Estimativas, erro padrão, limite inferior (L.I.) e limite superior (L.S.) dos intervalos de 95% de confiança para o Coeficiente angular (k) e coeficiente linear (Ln(a)) da reta de regressão do logaritmo da difusão contra a profundidade no corpo de prova, em mm; estatísticas dos testes F para a regressão e falta de ajuste (com os respectivos valores de probabilidade p) e coeficiente de determinação (r^2), considerando a *polimerização com LEDs* (L) e a *resina compactável* (2) nas combinações de tempos de polimerização (40s e 60s) e de imersão (24h e 40h).

Material	Coeficiente	Estimativa	p	Erro Padrão	I.C. (95%)	
					L.I.	L.S.
L3-40s-24h	k	0,039		0,007	0,024	0,054
	Ln(a)	-0,109		0,197	-0,535	0,316
	F(regressão)	32,268	<0,001			
	F(Falta de aj.)	1,298	0,277			
	r^2	0,713				
L3-40s-48h	k	0,020		0,004	0,011	0,030
	Ln(a)	-0,052		0,125	-0,321	0,218
	F(regressão)	21,991	<0,001			
	F(Falta de aj.)	1,083	0,319			
	r^2	0,628				
L3-60s-24h	k	0,025		0,004	0,015	0,034
	Ln(a)	-0,128		0,125	-0,399	0,143
	F(regressão)	32,467	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,001	0,973			
	r^2	0,714				
L3-60s-48h	k	0,011		0,002	0,007	0,016
	Ln(a)	0,004		0,057	-0,119	0,126
	F(regressão)	32,672	<0,001			
	F(Falta de aj.)	0,064	0,805			
	r^2	0,715				

ANDRADE, L. E. H. Estudo da difusão de um corante orgânico em resinas compostas polimerizadas com duas fontes de luz. Avaliação através de espectroscopia de fluorescência. Araraquara 2004, 116 p. Tese (Doutorado em Dentística Restauradora) Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

A utilização de corantes fluorescentes tem ajudado ao estudo da penetração de sistemas adesivos na estrutura dental e alguns compósitos, bem como na avaliação da microinfiltração e fendas na interface dente restauração. No caso das resinas compostas, esta técnica pode ser útil na verificação da profundidade de polimerização e vulnerabilidade físico-química das mesmas a corantes orgânicos. Neste intuito, nos propusemos a avaliar por meio de espectroscopia de fluorescência, a difusão de um corante orgânico em resinas compostas em função dos fatores: 1. Tipo de resina, 2. Fonte de luz, 3. Tempo de polimerização e 4. Tempo de imersão no corante. Para isso, foram realizados 2 grupos experimentais de acordo com a fonte de luz: lâmpada halógena- Grupo **H** e sistema LEDs - Grupo **L**. Cada grupo foi subdividido de acordo com a resina utilizada: **1.** Micropartícula (Filtek A110/ 3M), **2.** Híbrida (Z100/ 3M) e **3.** Compactável (P60/ 3M), onde cada subgrupo teve 2 tempos de polimerização: **40** e **60** segundos, e 3 tempos de imersão em solução de Rodamina 6G a 0,1% em etilenoglicol: **0**, **24** e **48** horas. Cada subgrupo possuía 5 amostras de 4 mm de diâmetro e 4 mm de espessura. Completados os tempos de imersão, foi obtida 1 fatia de 1,5 mm de espessura de

cada amostra, para traçar o perfil espacial de fluorescência e calcular o coeficiente de difusão. Os resultados mostraram que a resina híbrida obteve os menores valores de difusão quando comparada com as outras. Além disso houve uma tendência da difusão diminuir com o aumento do tempo de imersão de 24 para 48 horas, bem como com o aumento do tempo de polimerização de 40 para 60 segundos. A lâmpada halógena determinou difusão significativamente menor nos corpos de prova quando comparado com o sistema LEDs, independente do tipo de resina utilizada. Com isto, podemos concluir que a difusão de corante para o interior da massa de resinas compostas é influenciada pelos fatores que interferem na polimerização das mesmas, e que, quanto menos polimerizada, mais rápida será a difusão do corante estudado.

Palavras Chave

Difusão- Fluorescência- Resinas compostas.

ANDRADE, L. E. H. Difussion study of an organic dye on composites resins polymerized with two light sources. A fluorescence spectroscopy assessmet. Araraquara 2004, 116 p. Tese (Doutorado em Dentística Restauradora) Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista.

ABSTRACT

The fluorescent markers have been used to assess the teeth and composites bonding systems penetration, microleakage and teeth-restoration interface gaps. This markers also can be used to verify the resin deep polimerization and organic dyes susceptibility. In this work, the fluorescence spectroscopy was used to assess an organic dye difussion on composite resins, considering: 1- resin type, 2- light source, 3- polimerization time and 4- dye immersion time. The experimental groups of Halogen lamp (group **H**) and LEDs system (group **L**) were sub-divided according to resin type: **1**- microfilled (FilteK A110/3M), **2**- hybrid (Z100/3M) and **3**- packable (P60/3M) with **40** and **60** seconds of polimerization time, three immersion times on ethylene glycol rhodamine 6G 0.1% solution: **0**, **24** and **48** hours, with 5 specimens for each sub-group (4 mm of diameter and thickness). Once completed the immersion times, one 1.5 mm slice was obtained for each specimen and spatial fluorescence profile was traced to calculate a difussion coeficient. The results shown that, compared to other resins, an hybrid resin has the lowest difussion values. When the immersion time was increased of 24 to 48 hours and polimerization time of 40 to 60 seconds, a difussion decrease tendency was observed. The specimens cured by halogen lamp shown significantly lower difussion than that cured by LEDs

system, independent of resin type. We can conclude that dye diffusion into resin mass was influenced by the same factors that affect the polymerization, and when lower polymerization was present, more quickly will be the dye diffusion.

Key words

Difussion, Fluorescence, Resin composite.