

**Influência do posicionamento do espécime na resistência
adesiva à dentina e na espessura da camada de
sistemas adesivos**

FLÁVIA BITTENCOURT PAZINATTO

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Odontologia, na área de Dentística.

(Edição Revisada)

**Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Atta**

**Bauru
2006**

Pazinatto, Flávia Bittencourt

P266i Influência do posicionamento do espécime na
resistência adesiva à dentina e na espessura da camada
de sistemas adesivos / Flávia Bittencourt Pazinatto --
Bauru, 2006.

78p. : il.; 30cm

Tese. (Doutorado) -- Faculdade de Odontologia de
Bauru. USP.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Atta

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a
reprodução total ou parcial desta dissertação, por processo
fotocopiadores e/ou meios eletrônicos.

Assinatura do autor:

Data:

Comitê de Ética em Pesquisa da FOB-USP

Nº. do Protocolo: 39/2004

Data: 06 de outubro de 2005

DADOS CURRICULARES

FLÁVIA BITTENCOURT PAZINATTO

19 de agosto de 1975 Vitória - E.S.	Nascimento
1994-1998	Curso de Odontologia, Universidade Federal do Espírito Santo.
1998-2000	Curso de Especialização em Dentística pela Universidade Federal do Espírito Santo.
1998-2000	Professora Substituta das Disciplinas de Dentística e de Materiais Dentários do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Espírito Santo.
2001-2003	Curso de Pós-Graduação em Dentística, nível de mestrado, na Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo.
2003-2006	Curso de Pós-Graduação em Dentística, nível de doutorado, na Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo.
Associações	ABO - Associação Brasileira de Odontologia, Secção Espírito Santo. GBPD - Grupo Brasileiro de Professores de Dentística.

DEDICATÓRIA

A Deus,

por me abençoar e iluminar o meu caminho nas vicissitudes da vida. Por minha saúde física e mental, e pela oportunidade de conviver com pessoas especiais, tão necessárias ao meu crescimento pessoal.

Por eu ter conhecido o Centro Espírita “Amor e Caridade”, que muito acrescentou à minha retidão. Por eu ter a oportunidade de estudar o Espiritismo e seguir na confiança de que cada um faz seu próprio caminho e é responsável por ele.

Aos meus amados pais, Ednes e Ubiraci,

por sempre estarem ao meu lado nas minhas decisões. Por me darem oportunidade de continuar a estudar. Por me educarem e me darem o exemplo de suas vidas, de como saber ultrapassar os obstáculos por próprias ações e responsabilidades.

À minha Fabíola,

pelo cuidado, preocupação e amor que sempre teve comigo.

À minha irmã Fabrícia e ao meu cunhado Marco,

pela atenção e amor a mim dispensados. Pelo exemplo de professores que são.

À minha querida sobrinha Ana Luiza,

por sempre me receber com tanto carinho e amor, apesar da minha ausência involuntária mas necessária para que eu concluísse a pós-graduação.

Aos familiares e amigos,

por sempre me recepcionarem em Vitória com tanto carinho e alegria.

“O que importa de verdade na vida não são os objetivos que nos propomos, mas os caminhos que seguimos para consegui-los.”

Peter Bamm

AGRADECIMENTO ESPECIAL

À Professora Dr^a. **Maria Teresa Atta**,

que com grande presteza me conduziu neste trabalho.

Agradeço a ótima convivência que tivemos nesses cinco anos, pois foi, além de orientadora, minha amiga. Tenha a plena certeza de que suas atitudes quanto à relação aluno-professor muito me influenciaram.

Muito obrigada pela paciência, atenção e carinho!

Ao Prof. Dr. **José Mondelli**,

que confiou em mim e tem me dado apoio e oportunidades de exercitar todo o aprendizado profissional que obtive aqui na pós-graduação da FOB-USP.

Sua dedicação à profissão é admirável. Mas o cuidado e a atenção que dispensa aos seus alunos serão inesquecíveis.

Muito obrigada por tudo!

Ao **Luiz Marquezini Júnior**, meu querido e inesquecível amigo:

"O calor das coisas não está no tempo em que elas duram, mas na intensidade com que elas acontecem... Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis..."

(Fernando Pessoa)

Aos meus mais recentes amigos: **Adilson Furuse, Ana Raquel Benetti, Livia Bino, Thiago Marques, Suyane Luna e Bruno Vasconcelos**, por todos os nossos encontros (inclusive os gastronômicos!), por nossas risadas e por fazerem da minha estada em Bauru algo mais leve e agradável.

AGRADECIMENTOS

À Professora **Maria Domingas Covre Loss**, que é uma amiga para todas as horas. Por seu sempre incentivo ao meu crescimento pessoal e profissional.

Aos Professores **Maria Hermenegilda Grasseli Batitucci, Juraci Pereira, Martha Chiabai, Maria José Gomes, Hélio Barreto, Ranulfo Gionordoli Neto, Telmo Bastos Filho, João Helvécio Xavier Pinto**, pelo apoio profissional, boa convivência e amizade durante minha estada na Universidade Federal do Espírito Santo.

Vocês plantaram a semente que hoje dá frutos... Muito Obrigada!

Aos Professores Doutores do Departamento de Dentística da Faculdade de Odontologia de Bauru/Universidade de São Paulo, **Áquira Ishiquiriama, Carlos Eduardo Francischone, Eduardo Batista Franco, José Carlos Pereira, José Mondelli, Maria Fidela de Lima Navarro, Maria Teresa Atta, Rafael Francisco Lia Mondelli**, por todo aprendizado técnico-científico e humano que me proporcionaram.

Ao Prof. Dr. **Ricardo Marins de Carvalho**, do Departamento de Prótese, que muito me influenciou nessa linha de pesquisa. Admiro sua competência e excelência com que realiza a função de mestre-pesquisador. Muito obrigada por todos os ensinamentos.

Aos Professores Doutores de Materiais Dentários, **Paulo Francisconi, César Antunes de Freitas e Paulo Amarante**, pelos ensinamentos e solicitude.

Ao Prof. Dr. **Jesus Carlos Andreo**, da Disciplina de Anatomia, que abriu as portas de seu departamento para que eu realizasse uma parte deste trabalho, e me fez sentir “em casa”.

Ao **Geraldo** e **Luiz Henrique**, que, com paciência, me ensinaram a manusear o microscópio óptico e o programa de imagens.

Agradeço à **Maria Cisira Torquato Lourenço**, pela gentileza de sempre.

À **Thelma Lopes Silva** e **Ovídio dos Santos Sobrinho** da Bioquímica, por terem sido tão prestativos quando precisei usar os equipamentos de seu departamento.

Ao Prof. Dr. **José Roberto Pereira Lauris**, pela orientação da análise estatística deste trabalho.

Aos colegas de Doutorado de Dentística (Turma 2003): **Ana Raquel Benetti**, **Angélica Hannas**, **Anuradha Prakki**, **Diego Regalado**, **Eduardo Bresciani**, **Fabiano Valera**, **Leonardo Costa**, **Luiz Marquezini Júnior**, **Margareth Nunes**, **Terezinha Barata**, **Sérgio Kiyoshi Ishiquiriama** e de Materiais Dentários: **Anderson Freitas**, **Sérgio Sábio**, **Renato Cilli**, pela boa convivência e amizade.

Aos outros colegas de Mestrado/Doutorado de Dentística: **Adilson Furuse**, **Adriana Manso**, **Ana Carolina Francischone**, **Débora Legramandi**, **Emerson Coneglian**, **Juliana Felippi**, **Maria Cecília Matos**, **Miguel Martinez**, **Mônica Hermoza**, **Patrícia Aleixo**, **Safira Andrade**, **Ticiane Fagundes**, **Celiane Tapety**, **Daniela Cefaly**, **Fábio Sene**, **Fernanda Garcia**, **Juan Castañeda-Espinosa**, **Lawrence G. Lopes**, **Linda Wang**, **Paulo D'Alpino**, e de Materiais Dentários: **Carla Giannini**, **Odirlei Malaspina**, **Rosana Pereira**, **Luisa Esmeral** e **Rosa Garcez**, pelo aprendizado compartilhado e amizade.

Aos meus amigos estrangeiros: **Juan Rommel**, **Mônica Hermoza** (e **Lalo**), **Lina** e **Gregory Vagory**, pela amizade e carinho.

À **Débora Legramandi**, **Mônica Hermoza**, **Fabrcio L. de Castro** e **Thálita** pelos momentos tão agradáveis.

À **Celiane Tapety, Juliana Felippi, Kelly Gasque (Vandinha), Juliane Guimarães, Lívia Bino e Thiago Marques** pela companhia nas reuniões do CEAC e pela amizade.

À todos os outros colegas especializando, mestrando, doutorando e professores com quem tive a oportunidade de conviver e aprender novas experiências profissionais e de vida.

Aos funcionários do Departamento de Dentística e Materiais Dentários, **Nelson, Dito, Júnior, Karen, Juleica, Ângela, Rita, Heloísa, Beth, Sandrinha, Alcides e Lorivalda**, pela presteza que sempre me atenderam.

À **Ziley**, pelo carinho de sempre.

À **D. Neusa**, do CIP-I, pela ótima convivência, pelo carinho e por todas as nossas discussões a respeito de Deus.

Aos **funcionários da Biblioteca** da FOB/USP, pelas valiosas orientações técnicas.

Aos **funcionários da Pós-Graduação, Eduardo, D. Cleusa, Giane, Margareth e Letícia** pela boa convivência.

À **CAPES** pelo suporte financeiro para a realização deste Curso de Doutorado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xvi
RESUMO	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Dentina	5
2.2 Adesão, sistemas adesivos e suas relações	10
2.3 Ação da gravidade, espessura da camada de adesivo e possíveis relações com resistência adesiva	15
2.4 Testes de resistência adesiva à dentina e de mensuração da espessura da camada do sistema adesivo	17
3 PROPOSIÇÃO	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Seleção dos dentes	21
4.2 Preparo dos espécimes	21
4.3 Procedimentos restauradores	22
4.4 Confeção dos espécimes para o teste de microtração	26
4.5 Análise da espessura de adesivo	26

4.6 Teste de microtração	27
4.7 Análise estatística	28
5 RESULTADOS	29
5.1 Da resistência adesiva	30
5.2 Da espessura da camada de adesivo	32
5.3 Da correlação entre resistência adesiva e espessura da camada de adesivo	35
6 DISCUSSÃO	37
6.1 Da metodologia	37
6.2 Da resistência adesiva à dentina	40
6.3 Da espessura da camada de adesivo e suas possíveis relações com a resistência adesiva à dentina	47
7 CONCLUSÃO	57
ANEXOS	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ABSTRACT	77

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1-	Esquema dos procedimentos restauradores e de confecção dos espécimes	25
FIGURA 4.2-	Esquema da obtenção das imagens e dos locais de mensuração da espessura da camada de adesivo em um espécime. A área da interface adesiva compreendida no retângulo tracejado corresponde ao que se visualizava sob microscopia.....	27
FIGURA 4.3-	Fixação dos espécimes no dispositivo Bencor Multi-T e na máquina EMIC.....	28
FIGURA 5.1-	Valores médios e desvios-padrão (MPa) da resistência adesiva dos grupos de estudo.....	32
FIGURA 5.2-	Valores médios e desvios-padrão (μm) da espessura do adesivo dos grupos de estudo.....	35
FIGURA 5.3-	Correlação entre espessura de adesivo e resistência adesiva para o sistema adesivo Single Bond.....	36
FIGURA 5.4-	Correlação entre espessura de adesivo e resistência adesiva para o sistema adesivo Prime & Bond 2.1.....	36

FIGURA 6.1-	Imagem da interface adesiva com o sistema adesivo Single Bond.....	48
FIGURA 6.2-	Imagem da interface adesiva com o sistema adesivo Prime & Bond 2.1.....	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1-	Apresentação e composição dos materiais restauradores utilizados no estudo	24
TABELA 5.1-	Número de espécimes testados em cada grupo de estudo, distribuídos em função do modo de fratura.....	29
TABELA 5.2-	Valores de média \pm desvio-padrão (d.p.) (MPa) da resistência adesiva em função da variação regional dos espécimes.....	30
TABELA 5.3-	Valores de média e desvio-padrão (d.p.) (MPa) da resistência adesiva e número de espécimes (n) para cada grupo.....	31
TABELA 5.4-	Valores de média \pm desvio-padrão (d.p.) (μm) da espessura dos sistemas adesivos em função da variação regional dos espécimes.....	33
TABELA 5.5-	Valores de média \pm desvio-padrão (d.p.) (μm) da espessura dos sistemas adesivos em função da inclinação das paredes dos espécimes.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANOVA	análise de variância (estatística)
BIS-EMA	bisfenol polietilenoglicol dieter dimetacrilato
BIS-GMA	bisfenol glicidil metacrilato
°C	grau Celsius (centígrados)
d.p.	desvio-padrão
HEMA	2-hidroxi-etil-metacrilato
MEV	microscópio eletrônico de varredura
mm	milímetros
mm ²	milímetro quadrado
mmHg	milímetros de mercúrio
mm/min.	milímetros por minuto
MPa	mega Pascal
mw/cm ²	miliWatts por centímetro quadrado
n	número de espécimes
p	probabilidade de rejeitar a hipótese nula
PB2.1	sistema adesivo Prime & Bond 2.1
PENTA	ácido penta eritrol pentacrilato
r	coeficiente de correlação estatística
SB	sistema adesivo Adper Single Bond
SNK	Student-Neulman-Keuls
TEGDMA	trietilenoglicol dimetacrilato
UDMA	uretano dimetacrilato
X	magnitude
>	maior que (para significância estatística)
<	menor que (para significância estatística)
%	porcentagem
α	nível de significância estatística
μl	microlitro
μm	micrometro

RESUMO

Investigou-se a influência da inclinação das paredes de dentina (paralela ou perpendicular à ação da gravidade) e da variação regional dos espécimes (terços cervical ou oclusal) na resistência adesiva e na espessura da camada de adesivo. Vinte e cinco molares humanos foram seccionados no sentido méso-distal e paralelamente ao seu longo eixo, obtendo-se secções vestibulares e linguais, as quais foram lixadas produzindo-se superfícies planas de dentina. Sistemas adesivos (Adper Single Bond-SB e Prime & Bond 2.1-PB2.1) foram aplicados na dentina, ora paralelamente ora perpendicularmente à ação da gravidade, padronizando-se o volume de adesivo (3,5 µl por gota) através do uso de uma micropipeta e seguindo-se as instruções dos fabricantes. Os grupos de estudo foram: 1A (SB, paralelo), 1B (SB, perpendicular), 2A (PB2.1, paralelo) e 2B (PB2.1, perpendicular). Após 24h de armazenamento em água deionizada a 37°C, espécimes foram preparados na forma de palitos de dentina com área adesiva de 0,8 mm², aproximadamente. Na seqüência, foi determinada a espessura do adesivo de cada espécime, em micrômetros (µm), sob microscopia óptica (200X de aumento) e auxílio do programa *Image Pro-Plus* 4.5. Posteriormente, os espécimes foram submetidos à microtração sob velocidade de 0,5 mm/min. Todos os espécimes fraturados foram examinados sob microscopia óptica (40X de aumento) para a determinação dos planos de fratura. Os dados coletados foram submetidos aos testes ANOVA a 1 e 2 critérios e SNK ($\alpha = 0,05$). Para determinação da correlação entre resistência adesiva e espessura do adesivo foi utilizado o teste

de Correlação de Pearson. Os valores médios (MPa±d.p.) de resistência adesiva dos grupos 2A (52,93±15,19) e 2B (52,27±16,54) foram superiores àqueles dos grupos 1A (39,09±12,90) e 1B (32,94±12,42), independente da inclinação das paredes de dentina dos mesmos. Não houve diferença nos valores de resistência adesiva à dentina, independente da variação regional do espécime. Os valores médios ($\mu\text{m}\pm\text{d.p.}$) de espessura da camada de adesivo dos grupos 1A (11,24±2,92) e 1B (18,11±7,31) foram superiores àqueles dos grupos 2A (4,20±1,81) e 2B (3,87±1,29) ($p > 0,05$). O grupo 1B promoveu os maiores valores de espessura de adesivo, seguido do grupo 1A. As espessuras do adesivo nos grupos 2A e 2B apresentaram-se similares entre si. Houve influência da variação regional do espécime na espessura de adesivo somente para o grupo 1B. Não houve correlação entre resistência adesiva e espessura de adesivos para ambos SB e PB2.1 ($r = -0,224$, $p = 0,112$ e $r = 0,099$, $p = 0,491$, respectivamente). Conclui-se que a influência da inclinação das paredes de dentina e da variação regional dos espécimes na espessura da camada de adesivo é material-dependente, porém não influem na resistência adesiva dos sistemas adesivos à dentina.

1 INTRODUÇÃO

O sucesso da adesão depende da penetração do adesivo por entre os espaços interfibrilares expostos pela desmineralização, com intuito de formar uma camada híbrida⁶⁹ resistente ao deslocamento e que sele a estrutura dentária¹³. A adesão ao esmalte é considerada um procedimento durável e confiável clinicamente⁷⁵. Entretanto, a adesão à dentina permanece um fator limitante no sucesso e longevidade de restaurações de resina composta^{46, 57, 73, 105}, principalmente devido à falha precoce dessas restaurações inerente à dificuldade de formação de adequada camada híbrida frente à complexidade estrutural desse substrato^{21, 105}.

Essa complexidade estrutural da dentina pode ser explicitada pelas variações na sua permeabilidade^{72, 108} e diferentes orientações dos túbulos dentinários^{17, 64, 79, 90}. No entanto, outros fatores como tipo de agente condicionador^{11, 13, 58, 63, 75, 80} e tempo de condicionamento^{38, 47, 56, 63, 67} também podem estar associados, influenciando na adequada formação da camada híbrida e na resistência adesiva.

Observa-se que a maioria dos estudos sobre adesão em dentina é realizada sobre a dentina da parede pulpar, onde há maior exposição de túbulos cortados perpendicularmente e a permeabilidade dentinária é o fator de grande importância. Contudo, poucos trabalhos evidenciam a adesão nas paredes voltadas para as faces vestibular e lingual, onde há uma maior exposição dos túbulos dentinários cortados paralelamente e/ou oblíquos à superfície adesiva, como pode ocorrer numa cavidade clínica. Na literatura,

observa-se que não há um consenso a respeito da relação entre direcionamento de túbulos e espessura e/ou uniformidade de camada híbrida^{64, 79, 90} assim como em relação à resistência adesiva⁷⁹.

Ao se promover adesão em diferentes regiões de dentina, visto que a morfologia, a composição química e o grau de mineralização são diferentes entre as dentinas intertubular e peritubular, há que se ter noção de que seu condicionamento e molhamento, e a infiltração do adesivo também poderão ser diferentes. Segundo RUYTER⁸⁵ (1992), para que haja adequado condicionamento do substrato deve haver capacidade de molhamento do mesmo, que é alcançado quando há menor ângulo de contato entre adesivo e aderente. Essa capacidade de molhamento é dependente da relação entre a tensão superficial do adesivo e a energia de superfície do substrato, ou seja, a tensão superficial do adesivo deve ser menor que a energia de superfície do substrato para que o primeiro penetre no segundo. BAIER⁹ (1992) menciona que o espectro de molhabilidade caracteriza a relação crítica entre tensão superficial e a constituição química da superfície.

Neste contexto, quanto maior a mineralização da dentina, maior o molhamento do sistema adesivo⁶⁶. Desta forma, hipotetizando o que aconteceria em uma cavidade preparada onde há exposição diversa dos túbulos dentinários, o condicionamento ácido e a infiltração do adesivo seriam diferentes entre as paredes vestibular e lingual (maior área de exposição de dentina peritubular, além da dentina intertubular) e a parede pulpar (maior área de dentina intertubular)^{34, 35, 52, 105}.

Ainda, no curto tempo de aplicação clínica dos sistemas adesivos, o fator “ação da gravidade” poderia também influenciar a adesão nas paredes

cavitárias com inclinações diferentes (paralela ou perpendicular à ação da gravidade)⁶³. SAKAI & FUJII⁸⁷ (1999) estudaram um modelo teórico do efeito da gravidade em interfaces líquido-sólido e mostraram que a tensão superficial do líquido é aumentada pela gravidade. Assim, relataram que o aparente ângulo de contato pode ser aumentado pela ação da gravidade, podendo interferir no molhamento e condicionamento do substrato. Imagina-se, então, que o maior ângulo de contato produzido entre adesivo e aderente, sob a ação da gravidade, pode influenciar ainda mais a formação de adequada adesão ao se adicionar o parâmetro “viscosidade do adesivo”, já que esse também é um fator que influi no princípio da adesão³³.

A viscosidade de cada sistema adesivo é singular, sendo dependente de sua composição química, e influencia no molhamento do substrato^{83, 93}. Foi relatado que sistemas adesivos mais viscosos têm maior dificuldade em molhar o substrato do que os mais fluidos⁴⁸. Em recente pesquisa, verificou-se que sistemas adesivos com diferentes composições químicas escoam diferentemente em um mesmo substrato¹². Assim, sugere-se que sistemas adesivos diversos podem apresentar diferentes capacidades de escoar, molhar e promover adequada adesão. Além disso, sistemas adesivos que escoam rapidamente, no curto período de aplicação clínica, podem apresentar uma espessura variável ao longo das paredes cavitárias e acumular nos ângulos internos antes da fotopolimerização. Como resultado, essa espessura variável da camada de adesivo poderia absorver diferentemente os estresses de contração de polimerização da resina composta restauradora^{7, 26} e também interferir na evaporação do solvente do sistema adesivo, propiciando a

separação de fases na interface adesiva e a formação de porosidades no adesivo¹⁰⁹.

Na literatura, não há um consenso a respeito da correlação entre resistência adesiva e espessura de adesivo. Alguns autores²⁵ mencionaram a não correlação entre resistência adesiva e espessura de adesivo à base de acetona, outros¹⁰⁹ observaram uma relação inversa ao utilizarem sistema adesivo à base de etanol/água.

Com base nesses relatos, o presente trabalho objetiva estudar se sistemas adesivos de composições químicas diferentes, com viscosidades diferentes, promovem valores variáveis de resistência adesiva e de espessura da camada de adesivo ao longo de superfícies dentinárias vestibulares/linguais que sofram a ação da gravidade de forma diferente, como ocorre clinicamente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O grande incentivo para a realização desse estudo foi a escassez de dados sobre a adesão em paredes dentinárias vestibular e lingual, com orientação dos seus túbulos paralelos e/ou oblíquos, o que determina parte da adesão em dentina peritubular, além da dentina intertubular. Outro incentivo foi a possibilidade da influência do posicionamento paralelo/perpendicular do substrato na aplicação de sistemas adesivos com composições diferentes quanto a sua espessura e resistência adesiva à dentina.

É imprescindível o adequado conhecimento sobre as características do substrato, do sistema adesivo utilizado e do entendimento do processo adesivo em si a fim de obter o sucesso das restaurações adesivas.

Didaticamente, este capítulo foi dividido em tópicos. Entretanto, ressaltamos que os mesmos se correlacionam de tal forma que se fez necessária uma abordagem conjunta em alguns momentos.

2.1 Dentina

Com o desenvolvimento e aceitação da técnica do condicionamento ácido total³⁹, a dentina passou a ser alvo de inúmeros trabalhos, tornando-se um assunto de grande relevância na odontologia adesiva. Desde aquela época até os dias de hoje, muito se tem estudado a fim de estabelecer adequada adesão e selamento da dentina pelas restaurações adesivas. Para isso, devido ao fato da dentina ser um substrato bastante heterogêneo, o entendimento de

suas características físicas, mecânicas e químicas é de grande importância para qualquer profissional que atue na área da adesão.

Morfologicamente, a dentina é um substrato composto por, aproximadamente, em peso, 70% de matéria inorgânica, 18% de matéria orgânica e 12% de água⁵⁹. Entretanto, volumetricamente, a maior parte da dentina é ocupada por 30-50% de matéria orgânica e 20% de água^{21, 57}. Essa porcentagem pode ser modificada ao se realizar o condicionamento ácido prévio aos procedimentos adesivos, ou seja, localmente e após remoção do componente mineral, a concentração de água aumenta para cerca de 50 a 70%²³.

A dentina é considerada um tecido vitalizado por apresentar uma rede complexa de túbulos dentinários, os quais abrigam os prolongamentos citoplasmáticos dos odontoblastos da polpa dental¹⁴. Na região mais próxima à polpa, observam-se maior volume e maior diâmetro dos túbulos dentinários (45000/mm² e 2,5 µm). O inverso acontece quando os túbulos se aproximam, gradativamente, da área mais externa da dentina (20000/mm² e 0,9 µm)⁴¹. Assim, na região de dentina superficial é encontrada menor porcentagem de túbulos (1%) ao passo que em dentina mais profunda os túbulos ocupam cerca de 22% de sua área⁴¹. Essa rede de túbulos apresenta-se radialmente à polpa, alcançando a junção amelodentinária e/ou o cimento⁴¹. Desta forma, são encontrados túbulos dentinários perpendiculares, paralelos e/ou oblíquos, dependendo da região de dentina observada^{17, 64, 79, 90}.

A dentina pode, também, ser subdividida microscopicamente em dentina intertubular e peritubular. A região que preenche os espaços entre os túbulos dentinários é denominada dentina intertubular, rica em fibrilas de colágeno e onde se dá a adesão propriamente dita. Cada túbulo dentinário é circundado internamente pela dentina peritubular, altamente mineralizada, mas que após condicionamento ácido é totalmente removida por ser constituída de material fibrilar frouxo⁶¹. Assim como ocorre com a orientação dos túbulos, dependendo da localização da dentina no dente, encontraremos maior área de dentina peritubular ou intertubular disponível para adesão.

Clinicamente, após o preparo cavitário, várias regiões de dentina são expostas e disponibilizadas para a adesão. De acordo com as características morfológicas de uma determinada região de dentina, supõe-se haver diferente condicionamento e subsequente infiltração dos monômeros resinosos. A localização, a densidade e o diâmetro dos túbulos dentinários são responsáveis pela variação de permeabilidade da dentina^{69, 72, 108}, o que também pode afetar a adesão dos sistemas adesivos^{44, 45}. Muito se tem pesquisado a respeito da influência da permeabilidade na adesão, e observa-se que quanto mais próximo da região pulpar menores são os valores de resistência adesiva devido à maior permeabilidade da dentina⁷⁷. Contudo, é interessante que se estude não só a influência da permeabilidade dentinária nos procedimentos adesivos, como se vê nas pesquisas que utilizam a dentina da parede pulpar como substrato, mas também a possibilidade da morfologia e das características químicas/físicas da dentina das paredes circundantes influírem na adesão. A importância devida à adesão em dentina nas paredes circundantes se dá

porque a mesma estará sempre presente em uma cavidade, geralmente com grande área de exposição, independente da profundidade do preparo cavitário e do uso de materiais protetores do complexo dentino-pulpar. Poucos dados existem a respeito da adesão em dentina voltada para as faces lingual e vestibular dos dentes, onde os túbulos dentinários encontram-se distribuídos paralelos e/ou oblíquos à superfície adesiva. Ainda que a adesão a esse tipo de direcionamento de túbulos não tenha correlação direta com permeabilidade⁸⁹, como ocorre quando os túbulos apresentam-se perpendicularmente dispostos, pode ter com o volume e o tipo de dentina aí encontrados⁶⁵. Isso porque quando os túbulos são cortados paralelos e/ou oblíquos à superfície adesiva há uma maior exposição de dentina peritubular além da dentina intertubular. Uma vez que as dentinas peritubular e intertubular apresentam características químicas/físicas diferentes, também propiciam padrões de condicionamento diferentes entre si^{35, 52, 58}, possivelmente influenciando na adesão. COLI *et al.*²⁷ (1999) mencionaram que a adesão é altamente influenciada pela composição química da dentina, corroborando os achados de PANIGHI & G´SELL⁶⁶ (1992) que afirmaram existir correlação direta entre molhabilidade, que é a habilidade de um líquido escoar e molhar um sólido prontamente, e o grau de mineralização da dentina.

As propriedades mecânicas da dentina têm sido relacionadas principalmente à densidade das partículas minerais⁵⁵, à quantidade da dentina intertubular e/ou à densidade dos túbulos²². A inter-relação desses fatores com as propriedades mecânicas da dentina gerou vários trabalhos na literatura, e esses aspectos devem ser levados em consideração a fim de se prever

qualidade e durabilidade das restaurações adesivas¹⁰. Pesquisadores como CARVALHO *et al.*²² (2001) verificaram a resistência máxima à tração de espécimes de dentina desmineralizada correlacionando-a à orientação dos túbulos dentinários e à densidade dos mesmos. Concluíram que a resistência à tração da dentina é dependente da orientação dos túbulos, mas não de sua densidade. A resistência máxima à tração se deu quando a força era aplicada perpendicularmente à orientação dos túbulos, levando a uma melhor distribuição de estresse na interface adesiva; dados esses confirmados recentemente por BEDRAN-DE-CASTRO, PEREIRA & THOMPSON (2004)¹⁰. Imagina-se, a partir do exposto acima, que a adesão em dentina com túbulos cortados com direcionamento paralelo/oblíquo à superfície adesiva seja diferente daquela onde os túbulos estão perpendiculares. Assim, reiterando, achamos interessante o estudo de resistência adesiva à dentina das paredes vestibular e lingual, com exposição de túbulos paralelos e/ou oblíquos.

Segundo alguns autores, a orientação dos túbulos dentinários tem também importante efeito na formação da camada híbrida⁹⁰, e pode determinar a molhabilidade da superfície de dentina⁶⁴, facilitando ou dificultando o procedimento adesivo. Contudo, não há um consenso a respeito da relação entre direcionamento de túbulos e espessura e/ou uniformidade de camada híbrida^{64, 79, 90} assim como em relação à resistência adesiva⁷⁹. Adicionalmente, também é relatado que a espessura da camada híbrida não apresenta correlação com resistência adesiva^{69, 75, 108}. Porém, alguns autores mencionam parecer haver uma tendência em diminuir a resistência adesiva com o aumento da espessura camada híbrida⁴⁷. Apesar dessas possíveis relações, há que se compreender que a qualidade da camada híbrida é mais importante para o

selamento da dentina e para a resistência adesiva do que a sua quantidade^{69, 79, 108}.

2.2 Adesão, sistemas adesivos e suas relações

A adesão se dá pela íntima união entre substratos através de um agente adesivo. De acordo com RUYTER⁸⁵ (1992) uma adesão adequada requer boa capacidade de molhamento do sistema adesivo, ou seja, a ocorrência de um pequeno ângulo de contato entre adesivo e substrato. Assim, o molhamento de um sólido por um líquido depende da rugosidade e energia livre de superfície do substrato, e da tensão superficial e viscosidade do adesivo³³. Esses parâmetros citados serão correlacionados e discutidos a seguir.

Embora tenha havido aperfeiçoamento dos sistemas adesivos desde a sua primeira aplicação no esmalte dentário¹⁵, a literatura evidencia que ainda não se obteve um sistema adesivo eficiente e eficaz para ser utilizado em esmalte e dentina. Isso porque os referidos substratos são morfológica e estruturalmente diferentes. O esmalte é reconhecidamente um substrato que permite adequada adesão por ser altamente mineralizado e praticamente sem a presença de água⁷⁵. No entanto, a dentina mostra-se como uma rede de túbulos dentinários, intrinsecamente úmidos, além de ser menos mineralizada. Desta forma, ainda hoje, a adesão à dentina permanece um fator limitante no sucesso e longevidade das restaurações adesivas, pois não há o seu adequado selamento^{13, 24, 73, 74, 97}.

O condicionamento ácido do esmalte e dentina promove modificações químicas e mecânicas nesses substratos, alterando sua energia livre de superfície²¹. Pós-condicionamento, a energia livre de superfície do esmalte é aumentada, facilitando o molhamento⁸⁵. O contrário é observado na dentina, que tem sua energia livre de superfície diminuída pela exposição das fibrilas de colágeno, após a remoção dos componentes minerais pelo condicionamento ácido¹⁰⁵. Por isso, a dentina desmineralizada e úmida requer um agente (*primer*) que aumente sua energia superficial, permitindo boa molhabilidade pelo adesivo (resina fluida)⁶⁷. A utilização da técnica restauradora onde se aplica o *primer* na dentina úmida para promover a adesão é conhecida como “técnica úmida”⁵⁰. A umidade dentinária, ainda que necessária para manutenção dos espaços interfibrilares da dentina desmineralizada⁶⁸, pode ser prejudicial à adesão se não adequadamente removida. Com a finalidade de remoção dessa água, foram incorporadas substâncias voláteis (solventes) aos sistemas adesivos. Esses solventes são responsáveis pela remoção da água residual (por desidratação química) que envolve as fibrilas de colágeno, permitindo que os monômeros hidrofílicos penetrem na região desmineralizada⁴⁹. A presença dos solventes durante os procedimentos de adesão tem diferentes relevâncias. A evaporação do solvente nunca deveria ocorrer antes da hibridização, porque se o sistema adesivo não infiltrar a dentina desmineralizada poderá ser formada uma camada híbrida de baixa qualidade, propiciando rápida degradação de toda a interface adesiva⁴⁰. Contudo, sua evaporação é necessária antes da fotopolimerização dos sistemas adesivos, com intuito de se evitar efeitos adversos na adequada conversão dos monômeros em polímeros^{97, 109}.

O tipo de solvente presente no sistema adesivo depende da sua solubilidade nos co-mônômeros resinosos⁵¹. Os solventes mais utilizados na composição dos sistemas adesivos são os solventes orgânicos: água, acetona e etanol. Cada um apresenta uma característica química própria e pode se comportar de maneira diferente frente à umidade do substrato^{81, 102}. Adesivos com solventes à base de acetona necessitam ser aplicados sobre a dentina úmida, sendo mais sensíveis ao substrato seco do que aqueles à base de água^{24, 49}. Estes últimos são menos sensíveis à variação de umidade dentinária e, preferencialmente, devem ser aplicados à dentina mais seca, embora não ressecada^{24, 49, 76}.

A taxa (velocidade) de evaporação dos solventes tem um papel importante na desidratação química da água residual da dentina desmineralizada e está ligada à pressão de vapor de cada substância²⁴. Ou seja, essa propriedade está diretamente relacionada com a capacidade do solvente em evaporar-se rapidamente e carrear água junto de si, facilitando o processo da adesão. No entanto, como os sistemas adesivos são uma mistura de vários componentes, a pressão de vapor dessa mistura é gerida pela pressão de vapor do componente presente em maior proporção. A pressão de vapor da acetona, etanol e água são, respectivamente, 200⁸¹, 43.9 e 17.5⁴⁰ mmHg. Assim, à medida que ocorre a evaporação do solvente e da água residual, proporcionalmente ao volume total de adesivo aplicado no substrato, vai-se “aumentando” gradualmente o volume de monômeros resinosos, os quais apresentam taxa de evaporação baixíssima em relação aos solventes. Nesse momento, a pressão de vapor da mistura (sistema adesivo) fica tão baixa a ponto de impedir que solventes e água continuem a evaporar no tempo

clínico usualmente empregado para os procedimentos adesivos^{24, 70}. Esse episódio acontece em toda aplicação de sistemas adesivos sob técnica úmida e nos leva a entender o porquê da incompleta difusão de monômeros resinosos até a base da dentina desmineralizada¹⁰⁷: pela presença, ainda, de água e solvente residuais²⁴.

O cuidado na escolha do adesivo mais apropriado (pelo tipo de solvente presente) a ser aplicado em um substrato com determinada umidade propiciará melhor evaporação da água que ocupa os espaços entre as fibrilas de colágeno, assim evitando o fenômeno *overwet*^{98, 99, 100, 101}. Esse fenômeno foi descrito por TAY, GWINNETT & WEI⁹⁸ (1996) como sendo aquele em que o excesso de umidade na dentina desmineralizada provoca a diluição de alguns componentes resinosos do sistema adesivo, levando à emulsificação e separação de fases de seus componentes. Como consequência, não se forma uma camada híbrida homogênea e a dentina fica incompletamente selada. Contrariamente, a falta de umidade na dentina desmineralizada, por ressecamento da mesma através da desidratação física (secagem por ar, por exemplo), implica no colapso das fibrilas de colágeno, impedindo a infiltração dos monômeros resinosos e a adequada formação da camada híbrida. Esse acontecimento é conhecido como *overdry*^{98, 100}.

A forma mais interessante de se evitar os fenômenos *overwet* e *overdry* é a utilização da técnica de remoção do excesso de água da dentina desmineralizada pelo uso de bolinhas de algodão ou papel absorvente^{24, 32, 78}. Após isso, escolhe-se o adesivo mais apropriado de acordo com a umidade superficial remanescente da dentina desmineralizada.

Ao longo das várias gerações dos sistemas adesivos, os fabricantes intentaram desenvolver sistemas que, ao mesmo tempo, fossem de fácil utilização e que demandassem menor tempo operatório^{38, 67, 105}. A partir disso, surgiram os sistemas adesivos simplificados, contendo monômeros, diluentes e solventes em um único frasco. Todavia, a simplificação das etapas do procedimento adesivo implicou o desenvolvimento de sistemas adesivos quimicamente mais complexos e gerou problemas de permeabilidade na interface adesiva e na longevidade das adesões devido à necessidade simultânea de tornar os sistemas adesivos mais hidrofílicos para que apresentassem compatibilidade química tanto com os monômeros hidrofóbicos como com a umidade dentinária^{24, 103}.

Comercialmente, os sistemas adesivos apresentam-se com composição química bastante variada. Os fabricantes mantêm suas fórmulas originais não totalmente disponíveis (pelo segredo industrial) relatando somente alguns componentes de sua constituição, como os monômeros principais e os solventes. Dificilmente, é mencionada a proporção de cada componente. No entanto, sabe-se que a heterogeneidade da composição dos sistemas adesivos influi na sua tensão superficial^{6, 33}, e a concentração de cada componente contribui para a viscosidade final do material^{5, 31, 93}.

A viscosidade de cada sistema adesivo, portanto, é singular e de grande relevância para a molhabilidade e para sua capacidade de escoamento no substrato⁹³. Desta forma, quanto maior a viscosidade do adesivo, mais difícil é a sua capacidade de molhamento⁴⁸. Molhabilidade e capacidade de escoamento são também dependentes da composição química dos sistemas adesivos, e os solventes têm um importante papel nesse sentido⁸³. Assim, além

dos monômeros e diluentes, o tipo e a quantidade de solventes influem na viscosidade, no ângulo de contato e na tensão superficial dos sistemas adesivos^{5, 6, 31, 36, 49, 83, 93}. Em estudo recente, verificou-se que sistemas adesivos com solvente à base de acetona escoam muito mais rapidamente em um substrato do que aqueles à base de água¹², corroborando os dados de Rosales-Leal *et al.*⁸³ (2001). Esses relatos foram importantes para o questionamento de que poderia haver influência da composição do sistema adesivo, devido aos variados tipos de solvente e viscosidades, na espessura da camada de adesivo formada ao longo de uma parede cavitária e sua possível correlação com a resistência adesiva à dentina.

2.3 Ação da gravidade, espessura da camada de adesivo e possíveis relações com resistência adesiva

No nosso planeta tudo está sob a ação da gravidade, que é ditada pela força de atração que existe entre a Terra e os corpos. Segundo a teoria de Galileu, qualquer corpo é atraído ao centro da Terra por uma força proporcional à sua massa⁴³.

Recentemente, o parâmetro da gravidade foi relatado como possível influência no fenômeno do molhamento. SAKAI & FUJII⁸⁷ (1999) estudaram, teoricamente, o efeito da ação da gravidade na interface entre sólidos e líquidos, e então determinaram que o aparente ângulo de contato pode ser aumentado, dificultando o molhamento. Alguns autores citam a ação da gravidade como interferente no processo da adesão e na resistência adesiva⁶³ e justificam seus achados através da teoria de que um adequado ângulo de

contato⁸⁵, assim como um tempo mínimo de contato entre adesivo e substrato³⁸ são necessários para alcançar qualidade adesiva.

Se levarmos em consideração a viscosidade (ou fluidez) do sistema adesivo e a força de ação da gravidade como características sempre presentes durante os procedimentos de adesão, podemos sugerir a possibilidade da espessura da camada do sistema adesivo ser variável ao longo de uma parede cavitária restaurada com o paciente em posição supina, por exemplo. Isso implicaria negativamente na adequada evaporação de solventes, uma vez que camadas espessas de adesivo dificultam-na, trazendo sérias conseqüências na sua polimerização e união com a resina composta restauradora¹⁰⁹. De forma inversa, alguns autores relataram que uma camada mais fina de adesivo permitiria maior evaporação do solvente, gerando maiores valores de resistência adesiva¹⁰⁹. Porém, essa camada mais fina de adesivo poderia, também, produzir baixa conversão dos monômeros resinosos pela inibição da polimerização por ação do oxigênio⁸⁴.

Nota-se, portanto, que não há consenso entre os autores sobre a correlação entre espessura do adesivo e resistência adesiva^{25, 109}. Essa possível correlação é defendida baseada no módulo de elasticidade da camada do adesivo. Autores mencionam haver influência da espessura do adesivo no relaxamento do estresse da força de contração de polimerização da resina composta^{7, 26, 53, 54, 86}. Assim, sugerem que o estresse gerado pela força de contração de polimerização da resina composta possa ser minimizado quando sistemas adesivos de baixo módulo de elasticidade são aplicados em camada

menor; já os de maior módulo de elasticidade, deveriam ser aplicados em maior espessura para alcançar tal propósito⁷.

2.4 Testes de resistência adesiva à dentina e de mensuração da espessura da camada do sistema adesivo

A falta de padronização nos testes de cisalhamento e tração^{4, 95} pode ser mencionada como uma das causas de seu recente desuso. Atualmente, o teste de microtração tem sido o mais empregado para mensuração de resistência adesiva e foi primeiramente descrito por Sano *et al.*⁸⁸ (1994). Este teste foi baseado na teoria de Griffth (1920), onde é relatado que a resistência coesiva de corpos sólidos diminui com o aumento do volume e da área da sua secção transversa. Nesse sentido, nos testes de resistência adesiva com substratos de dimensões maiores, seriam grandes as chances de haver defeitos estruturais, os quais poderiam subestimar os valores reais testados. Por isso, Sano *et al.*⁸⁸, (1994) desenvolveram a técnica de microtração, promovendo muitos benefícios frente aos testes de mensuração da resistência adesiva até então empregados (cisalhamento e tração). O teste de microtração produz uma menor área adesiva (cerca de 1,0 mm²)⁸⁸, possibilitando testar pequenas e/ou delimitadas áreas do substrato como, por exemplo, uma região de dentina esclerótica. Essa menor área adesiva permite que mais espécimes sejam produzidos a partir de um mesmo substrato¹⁹, ao contrário do que se observa com os testes de cisalhamento ou tração, onde para cada espécime, geralmente, se utiliza um dente.

A diminuição da área adesiva também modifica a distribuição das tensões geradas no espécime. Adicionalmente, pode-se utilizar um dispositivo (Bencor Multi-T) para colagem do espécime¹⁰⁴, que permite o adequado alinhamento do mesmo em relação à força de tracionamento. Portanto, há uniformidade das forças de tração perpendicularmente à interface adesiva e, desta forma, o modo de fratura encontrado é praticamente só o modo adesivo (e/ou misto), com pouca presença de falhas coesivas. Falhas coesivas são encontradas, comumente, nos testes de cisalhamento ou tração pela distribuição não uniforme dos estresses aplicados à interface adesiva. As falhas coesivas geralmente indicam maiores valores de resistência de união³, mas devem ser excluídas da análise estatística com intuito de não se superestimar os valores reais da resistência adesiva da região de interface substrato/material restaurador.

A mensuração da espessura da camada do sistema adesivo pode ser feita, principalmente, por microscopia eletrônica de varredura ou por microscopia óptica^{25, 109}. Para utilizarmos a microscopia eletrônica de varredura é necessário ressecamento do espécime para a devida metalização, o que possivelmente gera artefatos de técnica nos substratos. Alternativamente, existe a microscopia eletrônica de varredura por pressão variável, que não requer ressecamento do espécime. No entanto, a disponibilidade desses equipamentos e o custo operacional devem ser avaliados a fim de se escolher o mais viável de acordo com o trabalho a ser realizado.

Quando o interesse é testar a resistência adesiva e mensurar a espessura da camada de adesivo em um mesmo espécime, cuidados devem

ser tomados tanto com a possibilidade de inclusão de artefatos de técnica assim como com o grande intervalo de tempo entre os testes propostos. Neste caso, a escolha do equipamento de análise visual mais adequado seria a microscopia óptica^{25, 53, 109}. A microscopia óptica permite uma boa visualização dos espécimes por produzir magnificação mínima de 40X e máxima de 1000X e não necessita que os espécimes estejam ressecados. Ainda, a análise sob microscopia óptica é rápida e, dependendo do equipamento de que se utiliza, é possível capturar as imagens digitalmente e armazená-las no computador para posterior mensuração através de programa de informática apropriado. Desta forma, há ganho de tempo e se diminui o risco de ressecamento do espécime.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Seleção dos dentes

Foram utilizados 25 molares humanos (processo n°. 39/2004 aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa – FOB/USP) (Anexo 1), sem defeitos estruturais e/ou cárie, para confecção dos espécimes. Após a extração, os dentes foram conservados em solução de timol a 0,1% e mantidos sob refrigeração até o momento de sua utilização.

4.2 Preparo dos espécimes

Os dentes foram seccionados no sentido méso-distal e paralelamente ao seu longo eixo, com disco diamantado (series 15LC diamond, Buehler, Lake Bluff, Illinois, EUA) em máquina de corte (Imptech PC10, Imptech International, Boksburg, África do Sul), obtendo-se uma secção vestibular e uma lingual para cada dente. Em seguida, as secções foram lixadas em politriz (DP-Panambra, Panambra Industrial e Técnica S.A., São Paulo, SP, Brasil) com lixa d'água de granulação #600 (Norton, Guarulhos, SP, Brasil), por um período de 30 segundos, afim de padronização da *smear layer*. Nesta etapa, foi mantido devido cuidado para que as superfícies de dentina ficassem planas, propiciando adequada interface adesiva para realização do teste de microtração. Após esse procedimento, as secções foram separadas aleatoriamente de forma que, para um mesmo dente, cada secção recebesse

uma técnica diferente de aplicação do mesmo sistema adesivo. Assim, ora na secção vestibular o sistema adesivo era aplicado paralelamente à ação da gravidade, ora era aplicado perpendicularmente à ação da gravidade. O mesmo se processava com a secção lingual.

4.3 Procedimentos restauradores

Dois sistemas adesivos convencionais simplificados foram utilizados para o estudo (Adper Single Bond - 3M-ESPE, e Prime & Bond 2.1 - Dentsply), cuja composição básica e modo de apresentação estão relatados na Tabela 4.1.

Desta forma, os dentes foram restaurados segundo os sistemas adesivos e as técnicas de aplicação propostos (Figura 4.1), de acordo com a recomendação dos fabricantes:

Grupo 1 (SB): foi aplicado ácido fosfórico a 35 % (3M-ESPE) nas paredes dentinárias durante 15 segundos, sendo posteriormente lavado por 30 segundos. A secagem da superfície de dentina foi feita com papel absorvente (Papel Melita, Melita Celupa, Brasil), com intuito de remover apenas o excesso de água. Em seguida, foram realizadas duas aplicações consecutivas (3,5 µl em cada aplicação, determinados através de micropipeta - Pipetman, Gilson Medical Electronics S.A., França) de sistema adesivo Single Bond (3M-ESPE) com auxílio de pincel de aplicação do tipo *microbrush* (Microbrush Plus, Microbrush Co., EUA) recebendo, posteriormente, um leve jato de ar por 2 a 5 segundos, esperada a evaporação do solvente por 30 segundos e fotopolimerizado por 10 segundos. A resina composta Z250 (3M-ESPE) foi

inserida com espátula (Thompson, Dental MFG Co., EUA) sob forma incremental até atingir-se a altura de 4 a 5 mm. Cada incremento foi polimerizado por 20 segundos através do aparelho de fotopolimerização Curing Light XL3000 (3M Dental model 5518AA, Canadá) na intensidade de luz de 500 mW/cm², que foi aferida através de um radiômetro.

Grupo 2 (PB2.1): foi aplicado ácido fosfórico a 35 % (3M-ESPE) nas paredes dentinárias durante 15 segundos, sendo posteriormente lavado por 30 segundos. A secagem da superfície de dentina foi feita com papel absorvente (Papel Melita, Melita Celupa, Brasil), com intuito de remover apenas o excesso de água. Em seguida, foi aplicada uma camada de Prime & Bond 2.1 (3,5 µl determinados através de micropipeta - Pipetman, Gilson Medical Electronics S.A., França) com auxílio de pincel de aplicação do tipo *microbrush* (Microbrush Plus, Microbrush Co., EUA), esperada a evaporação do solvente por 20-30 segundos, sendo posteriormente levemente “seca” com ar e fotopolimerizada por 10-20 segundos. Uma camada adicional de adesivo foi aplicada (3,5 µl), repetindo-se os procedimentos de evaporação de solvente e fotopolimerização. A resina composta Z250 (3M-ESPE) foi inserida com espátula (Thompson, Dental MFG Co., EUA) sob forma incremental até atingir-se a altura de 4 a 5 mm. Cada incremento foi polimerizado por 20 segundos através do aparelho de fotopolimerização Curing Light XL3000 (3M Dental model 5518AA, Canadá) na intensidade de luz de 500 mW/cm², que foi aferida através de um radiômetro.

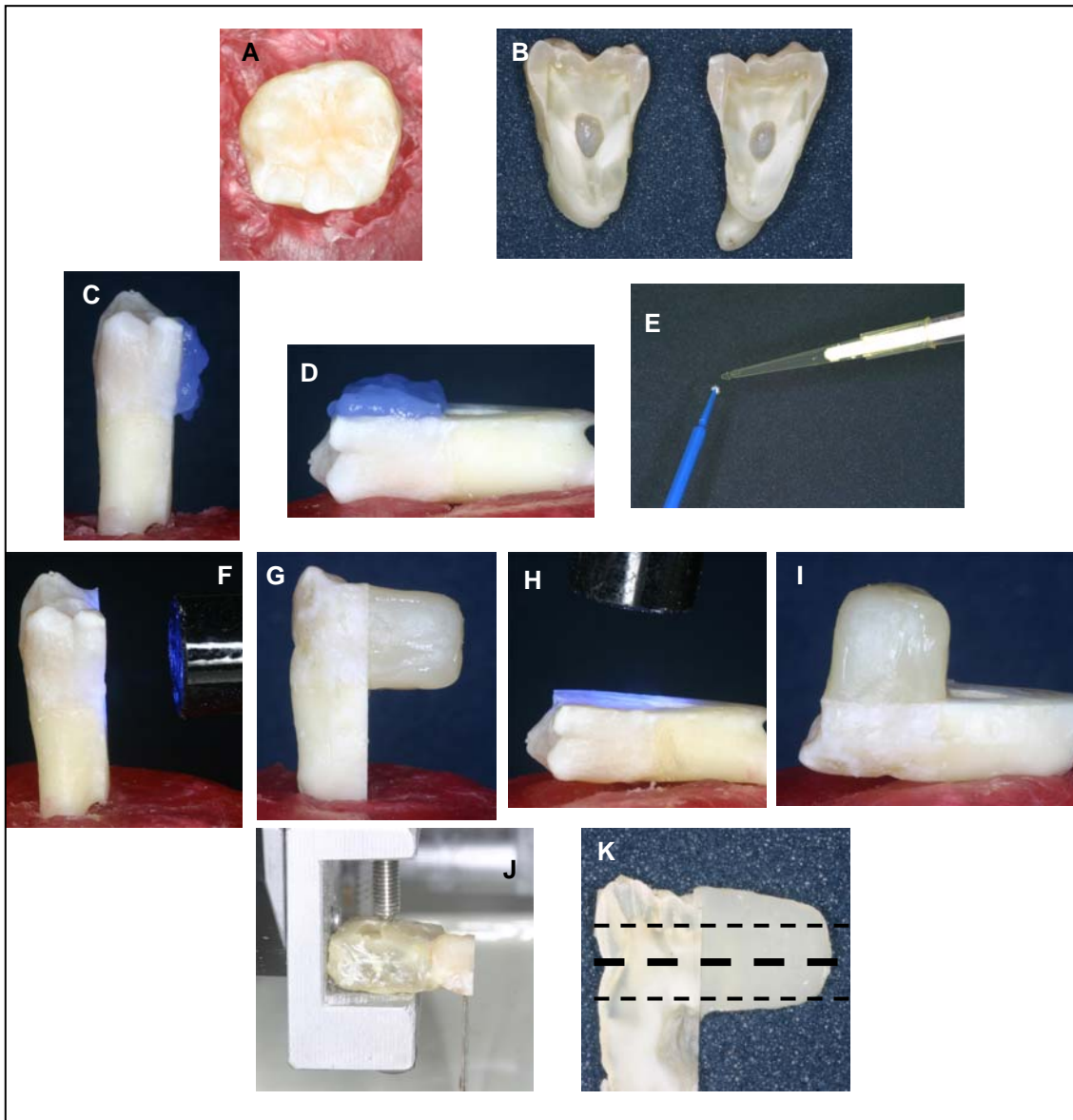
Para cada grupo de sistema adesivo, dois subgrupos foram determinados de acordo com o posicionamento das secções em relação à ação

da gravidade (ora paralelo – **subgrupo A**, ora perpendicular – **subgrupo B**) ante à aplicação dos adesivos (Figura 4.1).

Após os procedimentos restauradores, os dentes foram armazenados em água deionizada, em estufa a 37°C por 24 horas.

TABELA 4.1- Apresentação e composição dos materiais restauradores utilizados no estudo

Produto	Composição	Apresentação (lote)
Adper Single Bond (SB) (3M ESPE Dental Products, St Paul, MN, EUA)	ácido polialcenóico HEMA, etanol, água e BIS-GMA	Frasco único (# 4JU)
Prime & Bond 2.1 (PB2.1) (Dentsply Indústria e Comércio Ltda., Petrópolis, RJ, Brasil)	resinas dimetacrilato elastoméricas, PENTA, fotoiniciadores, estabilizadores, hidrófluoreto de cetilamina, acetona	Frasco único (# 55684)
Scotchbond Etchant (3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN, EUA)	Ácido fosfórico a 35 % (gel)	Seringa (# 4CH)
Z250 (3M ESPE Dental Products, St Paul, MN, EUA)	UDMA, BIS-EMA, TEGDMA, partículas inorgânicas de carga	Seringa (# 4LP)



Legenda: A: Dente molar antes do seccionamento. B: Secções vestibular e lingual do dente. C: Secção vestibular posicionada paralelamente à ação da gravidade e submetida ao condicionamento ácido. D: Secção lingual posicionada perpendicularmente à ação da gravidade e submetida ao condicionamento ácido. E: 3,5 µl de sistema adesivo sendo dispensado no *microbrush* através da micropipeta. F: Fotopolimerização da secção vestibular após aplicação do sistema adesivo no dente. G: Resina composta inserida e fotopolimerizada. H: Fotopolimerização da secção lingual após aplicação do sistema adesivo no dente. I: Resina composta inserida e fotopolimerizada. J: Seccionamento do espécime para confecção dos palitos de dentina. K: Em cada secção, determinação dos terços cervical e oclusal onde serão obtidos os palitos de dentina.

FIGURA 4.1- Esquema dos procedimentos restauradores e de confecção dos espécimes.

4.4 Confeção dos espécimes para o teste de microtração

Decorrido o tempo de armazenagem, dentes de cada grupo foram fixados a uma cortadeira (Imptech PC10, Imptech International, Boksburg, África do Sul) e seccionados no sentido vestibulo-lingual e paralelamente ao seu longo eixo, originando várias secções de aproximadamente 0,8 mm de espessura. Em seguida, cada secção foi fixada separadamente, e confeccionados 2 palitos de dentina de aproximadamente 0,8 mm², referentes aos terços cervical e oclusal (Figura 4.1).

4.5 Análise da espessura de adesivo

Na seqüência, esses mesmos espécimes foram submetidos à determinação da espessura do adesivo sob microscopia óptica (Olympus BX50F4, Olympus Optical Co. Ltd., Japan) com aproximadamente 200X de aumento. Para tal, os espécimes tiveram suas imagens capturadas digitalmente, por um dispositivo do microscópio (Olympus U-CMAD3, Olympus Optical Co. Ltd., Japan), as quais foram analisadas através do programa *Image Pro-Plus 4.5*. Para cada palito de dentina foram feitas 8 imagens (2 para cada face) e 16 mensurações da espessura do adesivo (4 para cada face). As mensurações foram obtidas aproximadamente na mesma localização para todos os espécimes, visto que cada imagem fora subdividida em três terços e as mensurações feitas entre o primeiro e segundo terços, e entre o segundo e terceiro terços (Figura 4.2).

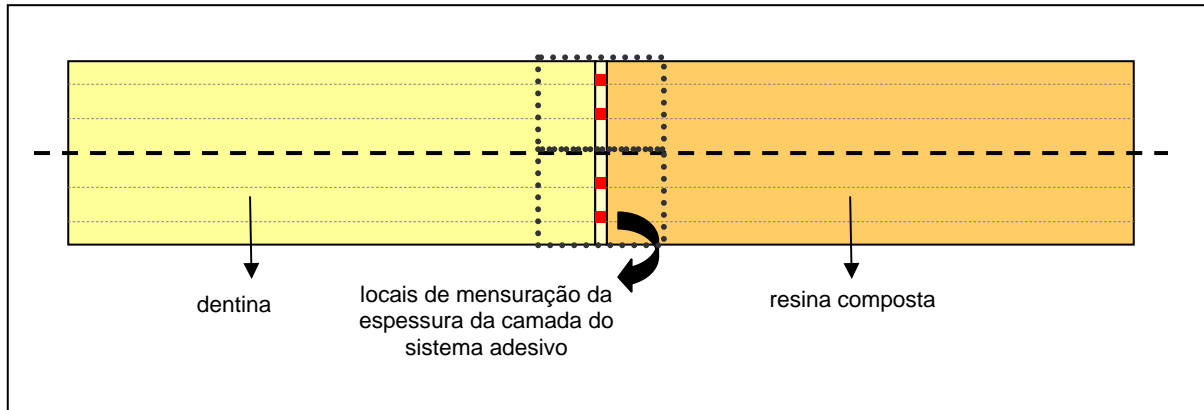


FIGURA 4.2- Esquema da obtenção das imagens e dos locais de mensuração da espessura da camada de adesivo em um espécime. A área da interface adesiva compreendida no retângulo tracejado corresponde ao que se visualizava sob microscopia.

4.6 Teste de microtração

Decorridas 48 horas após os procedimentos adesivos, os espécimes foram fixados às extremidades do dispositivo Bencor (Bencor Multi-T, Danville Engineering, Danville, CA, EUA) com cola à base de cianoacrilato (Super Bonder Gel Loctite, Henkel Ltda., SP, Brasil) e testados em uma máquina universal de ensaios (EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., São José dos Pinhais, PR, Brasil) à velocidade de 0,5 mm/min até sua fratura (Figura 4.3). Os espécimes foram removidos cuidadosamente do dispositivo e a área de secção transversal, no local da fratura, medida com o auxílio de um paquímetro digital (Digimatic Caliper, 500-143B, Mitutoyo Sul Americana Ltda., Suzano, SP, Brasil) até uma aproximação de 0,01 mm. Os valores de carga máxima no momento da fratura e área de secção transversal foram utilizados para o cálculo da resistência de união, expressa em MPa.

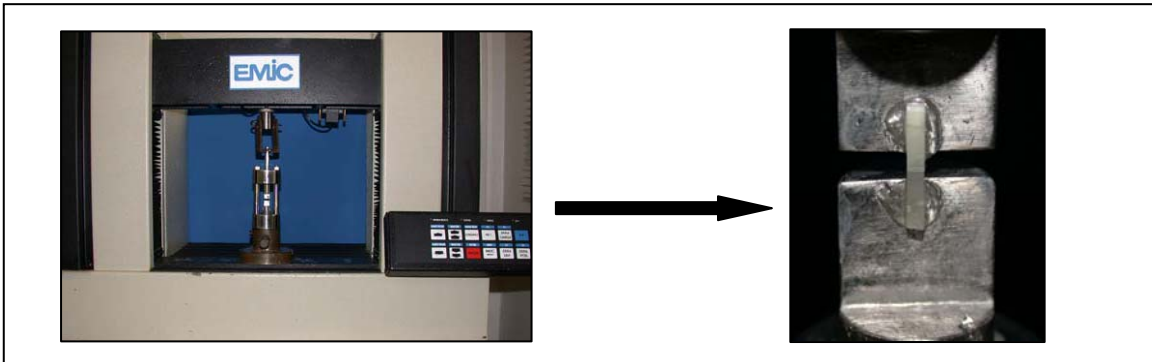


FIGURA 4.3- Fixação dos espécimes no dispositivo Bencor Multi-T e na máquina EMIC.

Todos os espécimes fraturados foram examinados sob microscopia óptica (DF Vasconcellos, São Paulo, SP, Brasil), em 40X de aumento, para a determinação dos planos de fratura. As fraturas foram classificadas como sendo adesivas quando ocorreram na interface adesiva, coesivas de substrato (resina ou dentina) e mistas, quando envolveram mais de um plano na interface.

4.7 Análise estatística

Para análise dos dados coletados foi empregada estatística descritiva com uso de tabelas e parâmetros de média e desvio-padrão. A comparação dos valores de resistência adesiva e espessura de adesivo foi realizada pela Análise de Variância a 1 e 2 critérios. Comparações individuais foram feitas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK). Para determinação da correlação entre resistência adesiva e espessura do adesivo foi utilizado o teste de Correlação de Pearson. O nível de significância pré-estabelecido foi de $\alpha = 0,05$.

5 RESULTADOS

A Tabela 5.1 expressa o resultado da análise do modo de fratura dos espécimes testados para cada grupo. Os modos de fratura foram classificados como: adesivo ou misto (A/M) coesivo em resina (CR) e coesivo em dentina (CD).

TABELA 5.1- Número de espécimes testados em cada grupo de estudo, distribuídos em função do modo de fratura.

Grupos	Modo de fratura		
	A/M	CR	CD
(1A) SB paralelo	23	5	1
(1B) SB perpendicular	28	4	1
(2A) PB2.1 paralelo	26	7	0
(2B) PB2.1 perpendicular	24	7	0

O modo de distribuição de fratura para cada grupo foi distinto. No entanto, o modo de fratura A/M foi o mais freqüente, independente da condição experimental avaliada. Os espécimes que apresentaram fraturas coesivas de dentina ou de resina foram descartados, não fazendo parte dos dados submetidos à análise estatística.

5.1 Da resistência adesiva

Análise de variância a um critério não mostrou diferenças estatísticas na resistência adesiva entre a variação regional (terços oclusal e cervical) dos espécimes de acordo com a condição de aplicação (inclinação das paredes) para cada sistema adesivo ($p > 0,05$) (Tabela 5.2). Assim, para as posteriores análises estatísticas, os espécimes dos terços oclusal e cervical foram incluídos no mesmo grupo, diferenciando apenas a inclinação da parede e o material utilizado.

TABELA 5.2- Valores de média \pm desvio-padrão (d.p.) (MPa) da resistência adesiva em função da variação regional dos espécimes.

Grupos		Média \pm d.p.
(1A) SB paralelo	Cervical	39,37 \pm 13,57 ^a
	Oclusal	39,01 \pm 13,11 ^a
(1B) SB perpendicular	Cervical	29,38 \pm 11,91 ^b
	Oclusal	35,61 \pm 12,50 ^b
(2A) PB2.1 paralelo	Cervical	56,20 \pm 12,59 ^c
	Oclusal	50,88 \pm 16,67 ^c
(2B) PB2.1 perpendicular	Cervical	56,78 \pm 11,69 ^d
	Oclusal	50,41 \pm 18,16 ^d

Letras iguais significam ausência de diferença estatística dentro do mesmo grupo ($p > 0,05$)

Ao compararmos os valores médios de resistência adesiva, sob ANOVA a 2 critérios, entre todos os grupos, observaram-se diferenças estatisticamente significantes segundo o material utilizado ($p < 0,001$). Não houve diferenças significantes entre as inclinações das paredes, independentemente do material utilizado ($p = 0,237$). Também, não houve interação entre as variáveis “inclinação das paredes” e “material” ($p = 0,340$). Os dados estão expressos na Tabela 5.3.

TABELA 5.3- Valores de média e desvio-padrão (d.p.) (MPa) da resistência adesiva e número de espécimes (n) para cada grupo.

Grupos	Média ± d.p. (n)
(1A) SB paralelo	39,09 ± 12,90 (23) ^a
(1B) SB perpendicular	32,94 ± 12,42 (28) ^a
(2A) PB2.1 paralelo	52,93 ± 15,19 (26) ^b
(2B) PB2.1 perpendicular	52,27 ± 16,54 (24) ^b

Letras iguais significam ausência de diferença estatística entre grupos ($p > 0,05$)

Os valores médios de resistência adesiva dos grupos 2A e 2B (Prime & Bond 2.1) foram estatisticamente superiores àquelas dos grupos 1A e 1B (Single Bond), independente da variável “inclinação das paredes” dos mesmos. Os grupos de mesmo material apresentaram valores médios de resistência adesiva similares, a despeito da inclinação de parede testada (Figura 5.1).

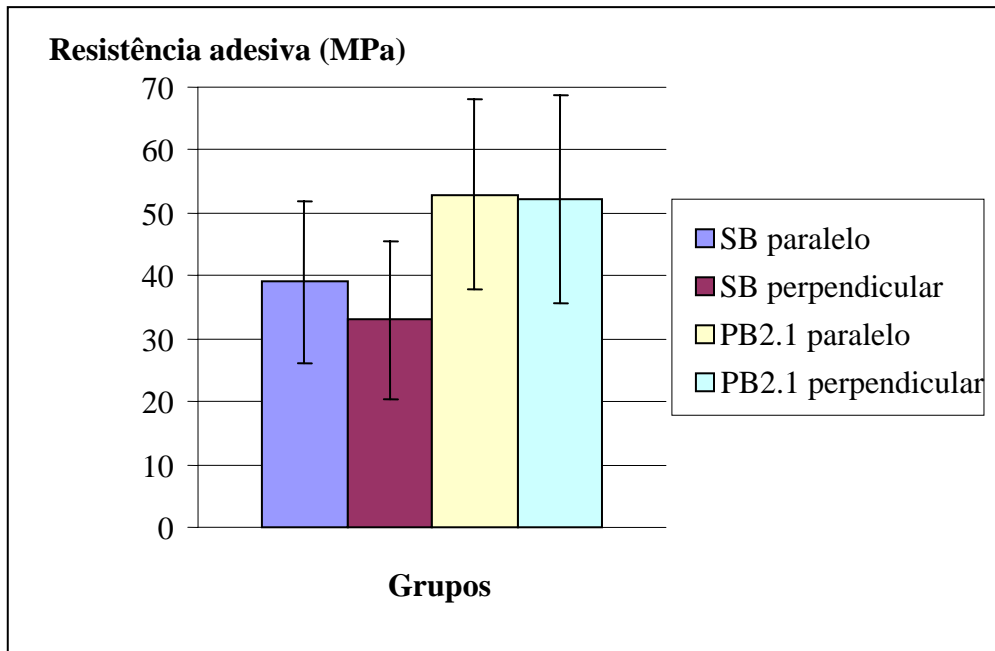


FIGURA 5.1- Valores médios e desvios-padrão da resistência adesiva dos grupos de estudo.

5.2 Da espessura da camada de adesivo

Em relação à espessura dos sistemas adesivos, a análise de variância a um critério mostrou diferenças estatísticas na espessura do adesivo entre a variação regional (terços oclusal e cervical) dos espécimes somente para o grupo 1B (Single Bond, perpendicular) ($p = 0,048$). Neste grupo, a maior espessura do adesivo foi identificada nos espécimes localizados no terço cervical. Para os demais grupos, não houve influência na espessura do sistema adesivo formada de acordo com a variação regional dos espécimes ($p > 0,05$) (Tabela 5.4).

TABELA 5.4- Valores de média \pm desvio-padrão (d.p.) (μm) da espessura dos sistemas adesivos em função da variação regional dos espécimes.

Grupos		Média \pm d.p.
(1A) SB paralelo	Cervical	11,80 \pm 2,42 ^a
	Oclusal	11,09 \pm 3,09 ^a
(1B) SB perpendicular	Cervical	21,23 \pm 7,14 ^b
	Oclusal	16,22 \pm 6,69 ^c
(2A) PB2.1 paralelo	Cervical	3,52 \pm 2,08 ^d
	Oclusal	4,63 \pm 1,54 ^d
(2B) PB2.1 perpendicular	Cervical	4,09 \pm 1,21 ^e
	Oclusal	3,78 \pm 1,35 ^e

Letras iguais significam ausência de diferença estatística dentro do mesmo grupo ($p > 0,05$)

No entanto, ao se juntar os dados da espessura dos sistemas adesivos do terços cervical e oclusal em um só grupo, submetendo-os à análise de variância a dois critérios, observaram-se diferenças estatisticamente significantes segundo o material utilizado ($p < 0,001$) e a inclinação das paredes ($p < 0,001$). Ainda, nota-se interação estatisticamente significativa entre as variáveis “material” e “inclinação das paredes” ($p < 0,001$) (Tabela 5.5).

TABELA 5.5- Valores de média \pm desvio-padrão (d.p.) (μm) da espessura dos sistemas adesivos em função da inclinação das paredes dos espécimes.

Grupos	Média \pm d.p. (n)
(1A) SB paralelo	11,24 \pm 2,92 (23) ^a
(1B) SB perpendicular	18,11 \pm 7,31 (28) ^b
(2A) PB2.1 paralelo	4,20 \pm 1,81 (26) ^c
(2B) PB2.1 perpendicular	3,87 \pm 1,29 (24) ^c

Letras iguais significam ausência de diferença estatística entre grupos ($p > 0,05$)

O teste Student-Neulman-Keuls (SNK) para as comparações múltiplas mostrou que os valores médios de espessura da camada de adesivo dos grupos 1A e 1B (Single Bond) foram significativamente superiores àquelas dos grupos 2A e 2B (Prime & Bond 2.1). A aplicação do sistema adesivo Single Bond com inclinação de parede perpendicular (grupo 1B) promoveu os maiores valores de espessura de sistema adesivo, seguida do grupo 1A (parede paralela). A espessura de adesivo dos grupos 2A e 2B apresentaram-se similares entre si (Figura 5.2).

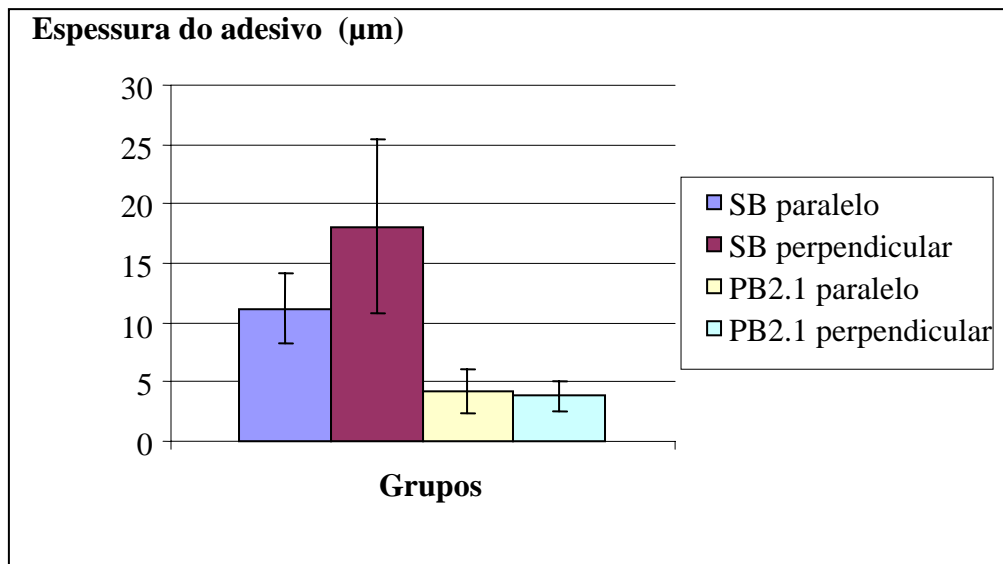


FIGURA 5.2- Valores médios e desvios-padrão da espessura do adesivo dos grupos de estudo.

5.3 Da correlação entre resistência adesiva e espessura da camada de adesivo

Ao analisarmos os espécimes dos grupos 1 (Single Bond) e 2 (Prime & Bond 2.1) sob o teste de correlação de Pearson, não foi observada correlação entre os valores de resistência adesiva e os valores de espessura de adesivo para Single Bond e Prime & Bond 2.1., respectivamente ($r = -0,224$, $p = 0,112$ e $r = 0,099$, $p = 0,491$) (Figuras 5.3 e 5.4). Desta forma, para cada sistema adesivo, a maior (ou menor) espessura da camada de adesivo não influenciou no aumento (ou diminuição) da sua resistência adesiva. No entanto, observamos que os grupos 2A e 2B apresentaram as menores espessuras da camada de adesivo e os maiores valores de resistência adesiva, inversamente ao que foi encontrado para os grupos 1A e 1B.

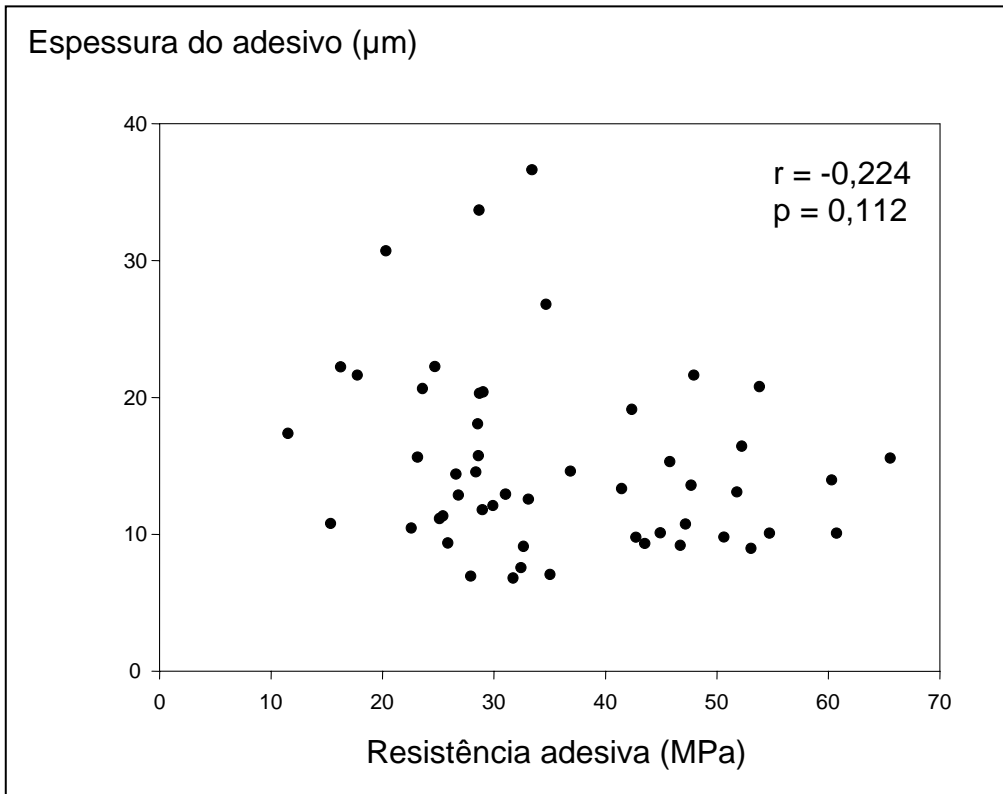


FIGURA 5.3- Correlação entre espessura de adesivo e resistência adesiva para o sistema adesivo Single Bond.

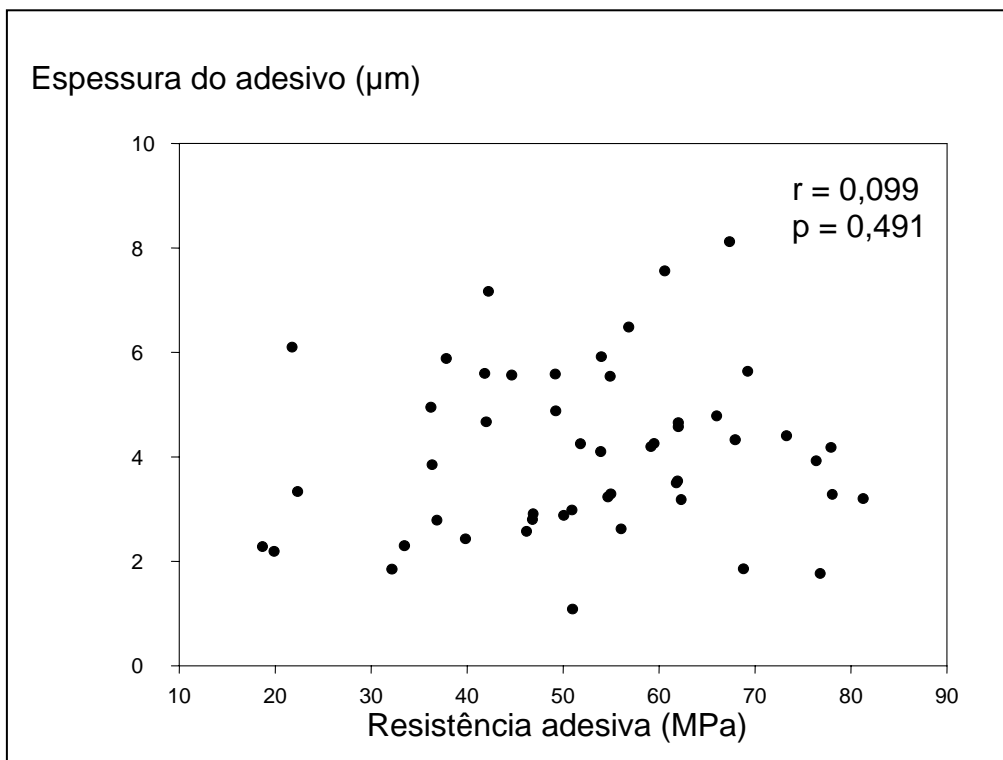


FIGURA 5.4- Correlação entre espessura de adesivo e resistência adesiva para o sistema adesivo Prime & Bond 2.1.

6 DISCUSSÃO

6.1 Da metodologia

Poucos estudos^{8, 25, 36, 54, 66} padronizaram o volume de adesivo aplicado a fim de se correlacionar sua espessura com resistência adesiva ou outro tipo de teste/análise. Como não há conhecimento do valor exato de adesivo dispensado em um *microbrush*, fica difícil relacionar a espessura do material levando em consideração somente o número de gotas ou de camadas aplicadas. Dependendo do quanto se aperte o frasco do sistema adesivo e a sua viscosidade/fluidez, vai haver diferença do volume de adesivo dispensado. Muitas vezes, os operadores encharcam o *microbrush* e, dependendo do tamanho/densidade de suas cerdas, maior ou menor quantidade de adesivo será aplicada por número de camadas, como o fabricante indica utilizar. Contudo, ainda que se padronize o volume de adesivo dispensado no *microbrush*, não se tem controle da quantidade de adesivo residual em suas cerdas. Dessa forma, visto as possíveis interferências operacionais, achamos que, para estudos de correlação como o nosso, o mais indicado seria a padronização do volume aplicado para se ter uma referência quantitativa do adesivo⁸.

A escolha do volume de 3,5 µl de adesivo para cada aplicação foi feita a partir de testes-piloto em que observávamos o volume aplicado e o brilho superficial⁴² produzido por ambos os materiais, Single Bond e Prime & Bond 2.1, no substrato. A partir daí, escolhemos o menor volume de adesivo

necessário para obtermos um substrato com brilho superficial observado visualmente²⁴.

A facilidade técnica e a disponibilidade do microscópio óptico no nosso campus universitário foram determinantes para sua escolha como equipamento de análise visual deste trabalho. No presente estudo, cuidados foram necessários para se testar no mesmo espécime tanto a resistência adesiva como a espessura da camada do adesivo. Para evitar que artefatos de técnica (ressecamento da dentina, por exemplo) interferissem nos valores reais do teste mecânico de microtração, foi muito importante realizá-lo sequencialmente à mensuração da camada de adesivo e em um menor intervalo de tempo possível.

A análise sob microscopia óptica permitiu a visualização de espécimes com magnificação máxima de 200X²⁵, pois os espécimes apresentavam espessura aproximada de 0,8 mm², fato que limitou sua visualização sob objetiva superior a de 20X. Isso porque quanto maior a espessura do espécime, menor é a possibilidade de se utilizar objetivas maiores, devido ao fato do espécime ficar muito próximo à objetiva, impedindo adequada focalização.

A captura das imagens pelo dispositivo acoplado ao microscópio permitiu que as mesmas fossem armazenadas e, posteriormente, analisadas sob um programa gráfico específico (*Image-Pro Plus 4.5*). Vale ressaltar que este programa permite uma calibração própria para cada objetiva sob a qual a imagem foi capturada, correlacionando *pixels* com unidade métrica, a partir de uma régua milimetrada com subdivisões micrométricas.

A análise das imagens de todos os grupos foi feita em um mesmo momento, ao final dos testes mecânicos. Isso foi interessante para se evitar uma possível subjetividade quando da mensuração nos diferentes grupos de estudo, visto que examinador e operador eram a mesma pessoa. Assim, ao mensurar a espessura de cada sistema adesivo, não se sabia em qual grupo havia sido realizada adesão com inclinação da parede de dentina paralela ou perpendicular à ação da gravidade.

O teste de microtração para se avaliar a resistência adesiva à dentina foi escolhido por apresentar vantagens como: permitir a obtenção de maior número de espécimes por dente, menores chances de influência de defeitos estruturais ou do adesivo pela menor área da secção transversal (0,8 mm²), e a melhor distribuição dos estresses na área adesiva^{19, 88}, diminuindo as falhas coesivas de resina/dentina.

A despeito da melhor distribuição dos estresses na área adesiva, algumas falhas coesivas ocorreram: 2 em dentina e 23 em resina composta. As falhas em dentina aconteceram somente nos grupos do Single Bond, assim como no estudo de MONTES *et al.*⁶⁰ (2001), sendo uma para cada subgrupo. As falhas coesivas em resina se distribuíram numericamente de forma homogênea entre todos os grupos. A ocorrência dessas falhas coesivas pode ser explicada pelo não adequado alinhamento do espécime em relação à força de tração, pois o espécime pode ser colado não exatamente paralelo ao longo eixo do dispositivo Bencor Multi-T¹⁰⁴. Ainda, segundo alguns pesquisadores^{60, 106}, falhas coesivas podem ser justificadas pela pouca espessura da camada de sistema adesivo. Tem sido especulado que uma camada maior de adesivo

pode permitir um “auto-alinhamento” do espécime, corrigindo aqueles menores desvios na colagem do espécime, o que distribuiria os estresses durante o teste⁹⁵. Entretanto, nossos resultados divergem do exposto, pois a espessura da camada de adesivo dos grupos Prime & Bond 2.1, por exemplo, foi bem fina, fato que não levou à falha coesiva generalizada nestes grupos. Por isso, não se pode descartar que as falhas coesivas em resina composta podem ter se originado da presença de bolhas de ar incluídas durante a inserção deste material restaurador.

Todavia, ressalta-se que nenhum espécie com falha coesiva foi incluído na análise estatística.

6.2 Da resistência adesiva à dentina

Alguns fatores são citados como responsáveis por influenciar as diferenças entre condicionamento dentinário e formação de camada híbrida: variações na permeabilidade dentinária^{72, 108}, orientação dos túbulos dentinários^{17, 79, 90}, tipo de agente condicionador^{11, 13, 58, 63, 75, 80} e tempo de condicionamento^{38, 47, 56, 63, 67}. Na verdade, é todo um conjunto de fatores referentes ao substrato e à composição química dos sistemas adesivos que pode influenciar a adesão^{9, 33}, seja na sua qualidade (formação da camada híbrida) como na sua quantidade (resistência adesiva em si).

Ainda que a qualidade da camada híbrida seja mais importante do que a sua quantidade (espessura)^{69, 79, 108}, e mesmo não havendo uma correlação direta com resistência adesiva^{69, 75, 108}, aqueles fatores previamente citados também poderiam influenciar os valores de resistência adesiva à dentina se

levarmos em consideração o tipo de sistema adesivo utilizado, dado as suas características químicas, como viscosidade e molhabilidade^{5, 6, 31, 33, 36, 48, 49, 83, 93} e físicas, como módulo de elasticidade^{7, 26, 53, 54, 86}.

Em relação à exposição dos túbulos dentinários, observamos sob microscopia óptica que na grande maioria dos espécimes analisados os mesmos se apresentavam cortados paralelamente à superfície de adesão, corroborando os achados de OLSSON, ÖILO & ADAMCZAK⁶⁵ (1993). Desta forma, além da dentina intertubular, uma maior área de dentina peritubular foi utilizada como substrato⁶⁵. Apesar de haver diferenças no padrão de condicionamento e adesão entre esses dois tipos de dentina^{35, 52, 58, 61}, sendo considerada mais adequada a adesão em dentina intertubular para formação da camada híbrida, parece que essas diferenças são mais importantes na análise microscópica individualizada das regiões aderidas, levando em consideração somente a qualidade de uma dada área da interface adesiva e não a área total envolvida na adesão (com a presença de ambas as dentinas intertubular e peritubular). Isso porque, ao comparamos os valores de resistência adesiva do presente estudo com os de outros que utilizaram dentina com túbulos cortados perpendicularmente, verificamos que nossos resultados encontram-se entre os valores médios ou acima dos citados na literatura, tanto para os grupos de Single Bond^{28, 76, 79, 81, 82, 104, 109} quanto para os de Prime & Bond 2.1^{18, 44, 91}.

Não há consenso na literatura a respeito da relação entre resistência adesiva e a orientação dos túbulos dentinários. Foi relatado que a resistência adesiva de sistemas autocondicionantes e convencionais, como o Single Bond, à dentina onde os túbulos apresentam-se cortados paralelos à superfície de

adesão é maior do que aquela onde os túbulos estão perpendiculares^{63, 64}. Já PHRUKKANON, BURROW & TYAS⁷⁹ (1999) demonstraram que não há influência da orientação dos túbulos quando do uso de sistemas autocondicionantes; mas que menores valores de resistência adesiva são encontrados quando se utiliza o Single Bond sobre dentina paralela em relação à dentina cortada perpendicularmente. Segundo alguns pesquisadores⁹⁰, em áreas onde os túbulos encontram-se perpendiculares à superfície de adesão, a camada híbrida apresenta-se mais espessa e com longos *tags* de resina; e, quando paralelos, a camada híbrida apresenta-se significativamente mais fina e com ausência de *tags*. Estes mesmos autores sugerem que os longos *tags* de resina podem somente contribuir na resistência adesiva se a resina realmente aderir às paredes dos túbulos dentinários. Contudo, OGATA *et al.*⁶⁴ (2001) observaram valores inversos para a relação entre espessura de camada híbrida e o tipo de orientação de túbulos dentinários; e que esses *tags* de resina talvez possam atuar como locais de concentração de estresse junto à área adesiva, o que não seria um fator interessante para o sucesso da adesão. Foi mencionado que o direcionamento dos túbulos pode determinar a molhabilidade da superfície da dentina⁶⁴. Assim, pode-se sugerir que a ocorrência dos variados achados citados acima deva ser sustentada pelas diferenças na composição química da região/área de dentina exposta para a adesão^{27, 66} somadas às características químicas particulares de cada sistema adesivo.

Observamos que não houve influência da região da dentina (cervical ou oclusal) na resistência adesiva, independente do sistema adesivo utilizado.

Resultados similares foram relatados na literatura⁸⁹. SATTABANASUK, SHIMADA & TAGAMI⁸⁹ (2004), ao utilizarem sistemas adesivos autocondicionante e convencional, observaram que embora as diferentes orientações dos túbulos dentinários (paralelo ou perpendicular) e profundidades de dentina (superficial ou profunda) tenham sido fatores relevantes para os valores de resistência adesiva, a localização da dentina (cervical ou oclusal) não o foi. Os autores atribuíram esses resultados às possíveis similaridades nas características locais dos tipos de dentina exposta.

No presente estudo, ainda que a exposição de túbulos cortados paralelamente/obliquamente à superfície de adesão tenha exposto, proporcionalmente à dentina intertubular, uma maior quantidade de dentina peritubular, notou-se, visualmente, que a maior área total de adesão ocorreu em dentina intertubular, independente da sua localização, se na região cervical ou oclusal. Assim, a ausência de diferenças estatísticas entre os valores de resistência adesiva para as regiões cervical e oclusal pode ter sido em relação à maior área de dentina aderida e não necessariamente aos tipos de dentina (intertubular ou peritubular) isoladamente. De certa forma, isso é corroborado pelos achados de GIANNINI *et al.*⁴⁴ (2001) ao observarem que em dentina com exposição de túbulos cortados perpendicularmente à superfície de adesão, quanto maior a área ocupada por dentina intertubular (dentina “sólida”), maiores eram os valores de resistência adesiva encontrados, independente do material utilizado. Por outro lado, verificaram que, para alguns sistemas adesivos, houve uma relação inversa entre densidade tubular e resistência adesiva.

Ao analisarmos os resultados de resistência adesiva quanto aos materiais utilizados, acreditamos que a composição química do sistema adesivo Single Bond o tenha levado a “molhar” a dentina de maneira diferente do sistema Prime & Bond 2.1. Isso porque a composição química de cada material influi na viscosidade, no ângulo de contato e na tensão superficial^{5, 6, 31, 36, 49, 83, 93} e são parâmetros importantes para a adesão.

No estudo de OGATA *et al.*⁶³ (1999) foi sugerido que em cavidades do tipo classe V em forma de cunha o sistema adesivo autocondicionante é deslocado das paredes cavitárias devido à sua baixa viscosidade, e por ação da gravidade, assim caracterizando um menor tempo de contato desse agente com o substrato. Uma vez que é necessário um ângulo de contato adequado⁸⁵, assim como um tempo de contato propício³⁸ para promover o condicionamento do substrato e a penetração do sistema adesivo na região desmineralizada, acreditávamos que sistemas adesivos de composições químicas diferentes (e viscosidades diferentes) pudessem apresentar valores diferentes de resistência adesiva quando aplicados em superfícies com diferentes inclinações da parede dentinária (paralela ou perpendicular à ação da gravidade). Em parte, isso foi demonstrado pelos nossos resultados; embora não necessariamente pela presença da ação da gravidade dentro de cada subgrupo de adesivo, mas em relação às diferentes viscosidades entre os grupos principais de sistemas adesivos, Single Bond e Prime & Bond 2.1.

O sistema adesivo Single Bond, por apresentar em sua composição um monômero de alto peso molecular - BIS-GMA⁹³ - e menor proporção de solvente em relação ao Prime & Bond 2.1⁸², mostra-se mais viscoso. De acordo com HISAMATSU, ATSUTA & MATSUMURA⁴⁸ (2002), quanto mais viscoso um

adesivo, mais difícil é o molhamento produzido em um substrato. Também, pela presença de água em sua composição, o tempo de espera de 30s indicado pelo fabricante para que se evaporem os solventes do Single Bond e os monômeros infiltrem a dentina desmineralizada talvez tenha sido insuficiente e prejudicado a adesão final. Já o solvente (acetona) presente no Prime & Bond 2.1 induz a uma tendência maior deste sistema adesivo em molhar e penetrar a dentina desmineralizada e úmida^{80, 94}, tanto por sua boa característica como agente de desidratação química da água, quanto pela menor viscosidade do material em si, além da sua elevada pressão de vapor^{1, 81}, que facilita a evaporação final de água e solvente residuais. Assim, poderíamos justificar os maiores valores de resistência adesiva encontrados para os grupos 2A e 2B (Prime & Bond 2.1), a despeito da inclinação de parede de dentina (paralela ou perpendicular) disponível para a adesão. Em contrapartida, BAE *et al.*⁸ (2005) mostraram que a maior viscosidade, até certo ponto, determina um adesivo “mais forte”, resultando em maiores valores de resistência adesiva à dentina; divergindo do que encontramos no presente estudo, pois os grupos 1A e 1B (Single Bond) apresentaram os menores valores de resistência adesiva.

Ainda que se tenha utilizado o teste de microtração, que permite uma maior padronização dentre os testes mecânicos, os valores gerais de resistência adesiva à dentina encontrados e confrontados com os da literatura são um pouco variáveis. PHRUKKANON, BURROW & TYAS⁷⁹ (1999) mencionaram que o sistema adesivo Single Bond não se comporta de maneira igual em relação à resistência adesiva ao longo das diferentes paredes

cavitárias, o que pode explicar valores diversos entre autores. NUNES *et al.*⁶² (2001) relataram valores de resistência adesiva do Single Bond à dentina cortada perpendicularmente, de cerca de 76 MPa, enquanto outros autores relataram valores bem mais baixos para o mesmo material (20 a 42 MPa)^{28, 76, 79, 81, 82, 104, 109}, e para o Prime & Bond 2.1 (23 a 37 MPa)^{2, 81, 91}. Segundo SHONO *et al.*⁹² (1999), a questão da variação dos valores de adesão pode estar relacionada à técnica, podendo produzir adesão resina-dentina de forma não tão homogênea quanto se espera. Acreditamos que a ocorrência desses variáveis achados na literatura pode ser atribuída à subjetividade do quão úmido ou seco esteja o substrato^{24, 32, 78} previamente à aplicação de adesivos à base de água/etanol e acetona⁴⁹, do que por problemas relativos ao teste de microtração isoladamente.

Jacobsen & Söderholm⁴⁹ (1998) encontraram maiores valores de resistência à dentina úmida quando sistemas adesivos à base de acetona foram aplicados sem agitação; e menores valores quando um sistema adesivo à base de água foi aplicado também sem agitação. Esses dados são similares aos nossos resultados. O protocolo de não agitação dos sistemas adesivos no presente estudo foi devido à necessidade de deixar o adesivo escoar voluntariamente no substrato, às expensas de sua viscosidade e da ação da gravidade, com intuito posterior de se mensurar a espessura da camada de adesivo formada.

6.3 Da espessura da camada de adesivo e suas possíveis relações com a resistência adesiva à dentina

Durante os procedimentos de mensuração da espessura da camada dos sistemas adesivos, notamos interessantes fatos que se repetiam a cada espécime, provavelmente devido às características químicas inerentes aos materiais estudados. O sistema adesivo Single Bond mostrou-se mais fácil de ser observado seja pelo seu aspecto mais uniforme e/ou pelo brilho que apresentava sob a microscopia óptica (Figura 6.1). Além disso, sua maior espessura facilitava, sobremaneira, a mensuração. Ao contrário, o sistema adesivo Prime & Bond 2.1 mostrava-se, geralmente, com aspecto poroso e irregular em espessura. Assim, durante os procedimentos de mensuração da espessura da camada do adesivo Prime & Bond 2.1, encontramos dificuldade em determiná-la, em alguns espécimes (Figura 6.2). Mesmo com o aumento de 200x de magnitude não conseguíamos observar a presença do adesivo em determinadas regiões da interface adesiva. A utilização de um aumento maior não pôde ser realizada porque o espécime apresentava uma espessura tal impossível de ser diminuída já que o mesmo seria analisado também pelo teste de microtração, que exige uma espessura de cerca de 0,8 mm².

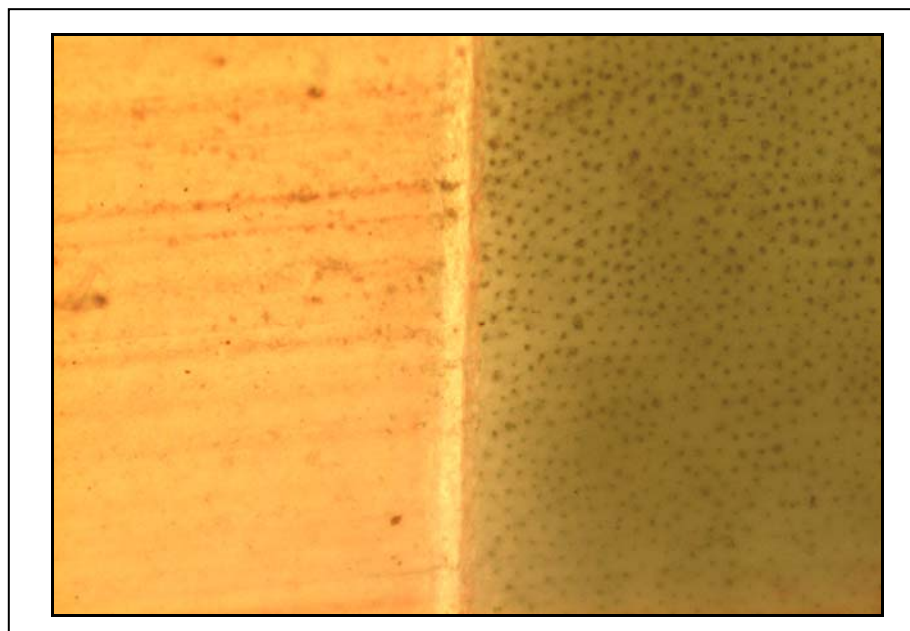


FIGURA 6.1- Imagem da interface adesiva com o sistema adesivo Single Bond.

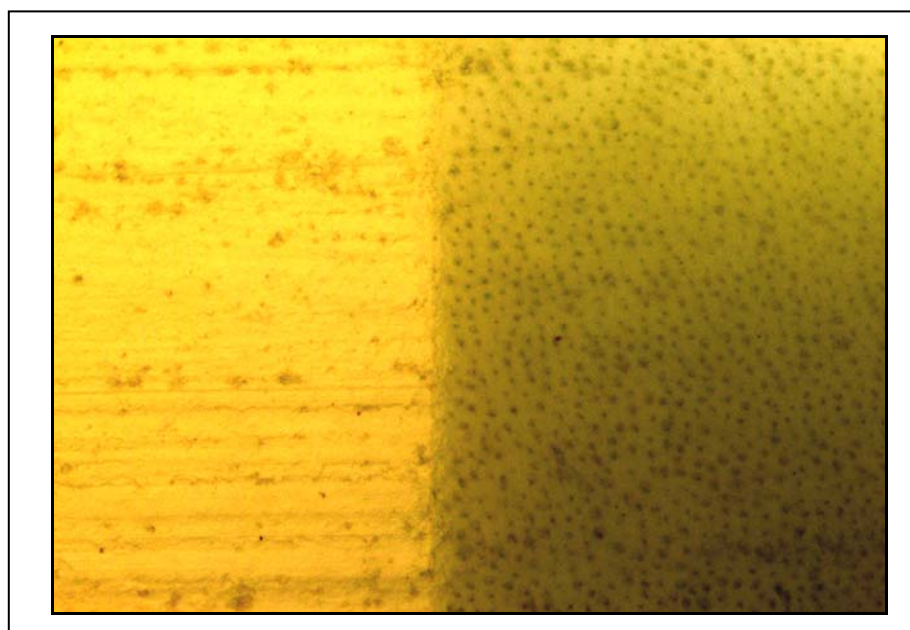


FIGURA 6.2- Imagem da interface adesiva com o sistema adesivo Prime & Bond 2.1.

A acetona em grande proporção no sistema adesivo promove uma camada adesiva mais fina, podendo induzir o aparecimento de *cracks* devido à evaporação do solvente²⁵. O sistema adesivo Prime & Bond 2.1 apresenta cerca de 81% em peso de acetona em sua composição⁸². Isso poderia justificar

a característica microscópica de irregularidade na camada deste adesivo. Entretanto, a possível presença de *cracks* não condiz com os altos valores de resistência adesiva encontrados ($52,93 \pm 15,19$ e $52,27 \pm 16,54$ MPa para os grupos 2A e 2B, respectivamente).

Mesmo que tenha havido dificuldade de visualização da camada do adesivo Prime & Bond 2.1, essa camada existia, ainda que mínima, pois durante os procedimentos adesivos, observávamos o chamado “brilho de superfície” do adesivo por todo o substrato, fato que é relatado como adequado para se certificar de que há suficiente material disponível para adesão⁴². No entanto, na bancada do laboratório, ou mesmo na clínica, é impossível quantificarmos visualmente o volume de adesivo sobre o substrato correlacionando-o ao seu brilho superficial. Isso foi claramente observado na presente pesquisa.

Apesar de sabermos da existência do adesivo, ainda que não visualizado na magnitude de 200X, deveríamos ter um valor numérico que pudesse ser utilizado na análise estatística dos dados. Segundo orientação do estatístico, a melhor opção foi atribuir um valor numérico médio entre zero e o valor mínimo que se conseguia mensurar através do programa *Image-Pro Plus*. Assim, não subestimaríamos nem superestimaríamos o valor real da camada de adesivo. Portanto, esse valor médio a ser atribuído ficou estabelecido com sendo $0,46 \mu\text{m}$.

Claramente, há significativas diferenças entre os valores das espessuras dos sistemas adesivos Single Bond e Prime & Bond 2.1, a despeito da inclinação das paredes de dentina em que foram aplicados. Como o volume dispensado no *microbrush* foi de $3,5 \mu\text{l}$ para cada aplicação, totalizando $7,0 \mu\text{l}$

para cada sistema adesivo, provavelmente essa diferença na espessura está altamente correlacionada com a composição química, especificamente com os solventes desses materiais. Como já mencionamos, o Prime & Bond 2.1 apresenta grande proporção em peso de acetona em sua composição (cerca de 81%), e o Single Bond apresenta 31% de etanol e água⁸², aproximadamente. Uma vez que a pressão de vapor da acetona é bem maior (200 mmHg)⁸¹ que a do etanol e água (43.9 e 17.5 mmHg)⁴⁰, supõe-se que do volume inicial dispensado, a acetona tenha sido quase que totalmente evaporada no período de 30s prévio à fotopolimerização, o que poderia explicar os altos valores de resistência adesiva para os grupos de Prime & Bond 2.1 mesmo com uma camada tão fina de material. Materiais com maior viscosidade tendem a formar camadas mais espessas, como ocorreu com os grupos do adesivo Single Bond. O sistema adesivo Single Bond parece apresentar maior viscosidade que o Prime & Bond 2.1, visto que durante pesquisa sobre a velocidade de escoamento destes materiais, o Single Bond escoou de forma mais lenta¹². Essa maior viscosidade pode ser devida, como já citado, tanto pela menor proporção de solventes presentes no material, quanto pela alta viscosidade do monômero BIS-GMA⁹³. Analisando sob o ponto de vista da maior espessura da camada do Single Bond aliada às menores taxas de evaporação dos seus solventes (etanol e água)⁴⁰ há grande possibilidade de que alguma porcentagem desses solventes ter remanescido na camada do adesivo, dificultando a conversão dos monômeros em polímeros^{97, 109} e resultando em menores valores de resistência adesiva comparando aos dos grupos de Prime & Bond 2.1.

Ao analisarmos separadamente os grupos de estudo, verificamos que não houve influência da inclinação das paredes de dentina (paralela ou perpendicular à ação da gravidade) na espessura da camada de adesivo dos grupos 2A e 2B (Prime & Bond 2.1). Na verdade, esperávamos encontrar diferenças estatisticamente significantes entre estes grupos. Talvez a rápida evaporação da acetona do Prime & Bond 2.1 e a sua tendência em molhar e penetrar prontamente a dentina desmineralizada e úmida^{80, 94} não tenham permitido que seu escoamento ao longo da parede de dentina promovesse espessura variável desse adesivo para ambos os subgrupos 2A e 2B. Nos grupos de Single Bond, a aplicação deste adesivo na dentina posicionada perpendicularmente à ação da gravidade (grupo 1B) produziu maior espessura da camada de adesivo em relação ao grupo 1A (paralelamente à ação da gravidade), como esperado.

Surpreendentemente, só houve diferença na espessura da camada de adesivo entre os terços cervical e oclusal para o grupo do Single Bond aplicado sobre dentina posicionada perpendicularmente à ação da gravidade (grupo 1B). Os maiores valores de espessura foram encontrados para o terço cervical. Poderíamos justificar esse achado pela possível variabilidade técnica do operador. Entretanto, ressaltamos que cada metade vestibular e lingual dos dentes era restaurada alternando-se a inclinação de parede de dentina: ora paralela ora perpendicular à ação da gravidade, dificultando a possibilidade de inclusão de erros operacionais.

Alguns autores mencionam que uma espessura mínima de cerca de 20 μm da camada de sistema adesivo deveria ser a ideal para se evitar a inibição

da polimerização pelo oxigênio^{24, 84} e que uma segunda aplicação de adesivo, principalmente quando do uso de sistemas simplificados, seria importante a fim de tornar essa camada mais uniforme, resultando em melhor adesão⁷¹.

Se levarmos em consideração que a espessura média de todos os grupos do presente estudo foi menor que esse valor “mínimo” supracitado, os valores de resistência adesiva desses grupos deveriam ter sido muito baixos ou os espécimes deveriam ter fraturado ao simples manuseio. No entanto, isso não ocorreu. Ao contrário, observamos que os espécimes dos grupos 2A e 2B apresentaram as mais finas espessuras da camada de adesivo, porém os maiores valores de resistência adesiva. De acordo com PASHLEY *et al.*⁷¹ (2002), sistemas adesivos que contêm PENTA em sua composição (como o Prime & Bond 2.1) podem ter sua camada de adesivo inibida pelo oxigênio “removida” quando uma camada de resina composta ou de adesivo é aplicada sobre os mesmos. Assim, a resina composta (ou adesivo) pode “deslocar” ou “absorver” os monômeros não convertidos da camada de adesivo, não a deixando fragilizada^{71, 84}. Também, é sugerido que o calor gerado durante fotopolimerização da resina composta restauradora possa atingir a camada de adesivo inibida pelo oxigênio, ativando a conversão de alguns monômeros em polímeros⁸⁴.

Há estudos^{28, 53, 60, 109} relatando pouca espessura da camada do sistema adesivo, menores que a mínima recomendada, corroborando nossos achados. ZHENG *et al.*¹⁰⁹ (2001) observaram que finas espessuras do sistema adesivo Single Bond (< 7,5 µm) produziram valores similares de resistência adesiva em relação a espessuras maiores (entre 7,5 e 25 µm; e entre 25 e 50 µm). Quando aplicado em uma ou duas camadas, o sistema adesivo Single Bond pode

apresentar espessuras médias de 5 e 10 μm , respectivamente⁵³. D'ALPINO²⁸ (2005) também encontrou valores bem menores de espessura da camada de adesivo (cerca de 5 μm), os quais não interferiram nos valores de resistência adesiva.

Vale ressaltar que o estudo inicial que determinou a espessura mínima foi realizado em 1990⁸⁴ utilizando adesivo (Commanding Bonding Resin, Kerr Manufacturing, Romulus, MI) sem menção à presença/tipo de solvente, sem padronização do volume de adesivo aplicado e utilizando o teste de cisalhamento em um espécime e a espessura mínima do adesivo que permitia a inibição da conversão dos monômeros em outro; portanto, não poderiam adequadamente correlacionar valores de resistência com espessura da camada de adesivo inibida pelo oxigênio.

Ao realizarmos o teste de correlação de Pearson entre espessura de adesivo e resistência adesiva, não encontramos correlação entre os grupos, a despeito do sistema adesivo utilizado. Para o sistema adesivo Single Bond, houve diferença significativa entre as espessuras dos grupos 1A (paralelo) e 1B (perpendicular), sendo maior para o grupo 1B. No entanto, mesmo havendo essa variação de espessura da camada do adesivo não encontramos correlação estatística com a resistência adesiva. Analisando os grupos 2A e 2B (Prime & Bond 2.1.), verificamos que a espessura da camada de adesivo foi similar em ambos e que, também, não houve correlação com a resistência adesiva.

ZHENG *et al.*¹⁰⁹ (2001) correlacionaram espessura do sistema adesivo Single Bond e resistência adesiva à dentina, e concluíram que entre

espessuras menores que 7,5 µm até 50 µm não há alteração nos valores de resistência adesiva, ou seja, não há correlação. No entanto, para espessuras acima de 50 µm até 430 µm, há uma correlação inversa em relação à resistência adesiva. Contrariamente, CHO & DICKENS²⁵ (2004) não encontraram correlação entre espessura de adesivos experimentais à base de acetona e resistência adesiva à dentina. No entanto, observaram que quanto maior a porcentagem de acetona no adesivo, menor era a espessura encontrada. Esses relatos indicam que, independentemente da espessura da camada de sistemas adesivos à base de acetona, há adequado molhamento da dentina pelos monômeros carregados por este solvente, assim produzindo boa resistência adesiva ao substrato.

Alguns pesquisadores correlacionaram espessura da camada de sistemas adesivos com relaxamento dos estresses das forças de contração de polimerização da resina composta restauradora^{7, 54}. Uma espessura maior da camada de um adesivo de alto módulo de elasticidade permite maior relaxamento do estresse da contração de polimerização da resina composta^{7, 26, 54} assim como quando sistemas adesivos de baixo módulo de elasticidade são aplicados em camada menor⁷. No entanto, ainda que se mencionem os valores “ideais” da espessura da camada de adesivo para esse propósito (cerca de 50 a 150 µm)⁷ bem maiores que os nossos, há que se entender que esses são dados obtidos através de estudos de análise de elemento finito e não estudos *in vivo* ou *in vitro*.

Adicionalmente, uma vez que o presente estudo utilizou superfícies planas para a adesão, a espessura da camada de adesivo, neste caso, tem

menor importância no relaxamento do estresse da contração de polimerização da resina composta do que teria se a adesão fosse realizada em uma cavidade propriamente dita^{20, 29, 30, 37}.

Independentemente do que foi discutido acima a respeito dos benefícios de uma camada de adesivo com maior espessura, se essa camada apresentar-se muito espessa pode haver alguns prejuízos na restauração, principalmente por seu acúmulo junto aos ângulos internos^{24, 109} e na borda externa da cavidade. Ainda que uma espessura maior de adesivo possa facilitar o alívio dos estresses da força de contração de polimerização da resina composta, impedirá a adequada evaporação dos solventes e água residuais^{24, 109}, dificultando a apropriada conversão de monômeros em polímeros⁹⁷, e permitirá maior quantidade de monômero hidrofílico disponível para a sorção de água do meio bucal, facilitando sua degradação química^{16, 46, 96}.

A partir do que foi exposto, concluímos que materiais com maior viscosidade tendem a formar camada de adesivo mais espessa, porém podem molhar o substrato com menos eficiência do que aqueles mais fluidos, resultando em menores valores de resistência adesiva. A espessura da camada do adesivo formada ao longo de uma parede cavitária parece ser mais influenciada pela composição do material do que pela ação da gravidade. Como não observamos relação direta entre espessura da camada de adesivo e resistência adesiva, sugerimos aplicação de menor quantidade de adesivo possível, evitando-se infortúnios relativos à inadequada evaporação de solventes, conversão de monômeros e possível degradação química.

Vimos que é imprescindível o entendimento da inter-relação dos fatores aqui estudados para que se possa alcançar sucesso e longevidade das restaurações adesivas. Pesquisas futuras seriam interessantes a fim de se avaliar a qualidade da camada híbrida formada sob as mesmas variáveis deste estudo.

7 CONCLUSÃO

Verificando as hipóteses propostas, após a análise estatística dos resultados, é lícito concluir que:

1) Para cada sistema adesivo não houve diferença nos valores de resistência adesiva à dentina, independente da inclinação das paredes dentinárias. A resistência adesiva do sistema adesivo Prime & Bond 2.1 mostrou-se maior que a do Single Bond;

2) Para cada grupo de estudo, não houve diferença nos valores de resistência adesiva à dentina, independente da variação regional do espécime (terços cervical ou oclusal);

3) Para o sistema adesivo Prime & Bond 2.1 não houve diferença na espessura da camada de adesivo formada, independente da inclinação das paredes dentinárias. A inclinação das paredes dentinárias influenciou a espessura do sistema adesivo Single Bond, sendo maior para a inclinação do espécime perpendicularmente à ação da gravidade;


4) Para o grupo 1B (Single Bond, perpendicular) a espessura da camada de adesivo formada na parede cervical foi superior àquela formada na parede oclusal. Para os demais grupos, não houve diferença na espessura da camada de adesivo formada, independente da variação regional do espécime (terços cervical ou oclusal);

5) Não houve correlação entre a resistência adesiva e a espessura da camada de adesivo, independente do sistema adesivo utilizado.

As hipóteses antecipadas 1, 3 e 4 devem ser rejeitadas e as hipóteses 2 e 5 devem ser aceitas.

ANEXOS

ANEXO 1- Carta de aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa da FOB-USP



Universidade de São Paulo
Faculdade de Odontologia de Bauru
Al. Dr. Octávio Pinheiro Brisolla, 9-75 – Bauru-SP – Brasil – CEP 17012-901 – C.P. 73
PABX (0XX14)3235-8000 – FAX (0XX14)3223-4679

Comitê de Ética em Pesquisa (3235-8356)

Of.nº CEP/40 2005/FOB
Of. CEP-Proc. Nº 038 e 039/2004

Bauru, 06 de outubro de 2005.

Senhora Professora,


Recebemos ofício de V.Sª comunicando alterações nos projetos de pesquisa "*Avaliação da resistência adesiva e espessura do adesivo nas diferentes paredes dentinárias de restaurações de Classe I (Proc. Nº 38/2004)*" e "*Efeito da ação da gravidade sobre a resistência adesiva e a espessura nas diferentes paredes dentinárias de restaurações de resina composta*" (Proc. Nº 39/2004) de autoria de Flávia Bittencourt Pazinato, sob sua orientação, fundindo-se num único projeto intitulado "*Avaliação da resistência adesiva e da espessura do adesivo à dentina sob diferentes formas de aplicação de sistemas adesivos*", cujo trabalho resultará na tese de doutorado da referida aluna; ressalte-se que para controle da pesquisadora e deste Colegiado, considera-se o número de protocolo Proc. CEP. Nº 39/2004.

Após análise das modificações ocorridas, este Comitê de Ética em Pesquisa manifesta-se favorável à execução dessa pesquisa.

Lembramos que ao término do trabalho V.Sª deverá encaminhar um relatório final para parecer deste Colegiado o qual será utilizado para publicação científica.

Sendo o que nos apresenta para o momento, despedimo-nos,

Atenciosamente,



Prof. Dr. José Henrique Rubo
Coordenador

Ilmª Srª Profª Drª Maria Teresa Atta
DD. Docente do Departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Dentários

*REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABATE, P.F.; RODRIGUEZ, V.I.; MACCHI, R.L. Evaporation of solvent in one-bottle adhesives. **J. Dent.** v.28, n.6, p.437-40, Aug. 2000.
2. ABDALLA, A.I. Microtensile and tensile bond strength of single-bottle adhesives: a new test method. **J. Oral Rehabil.**, v.31, n.4, p.379-84, Apr. 2004.
3. ABU-HANNA, A.; GORDAN, V.V. Evaluation of etching time on dentin bond strength using single bottle bonding systems. **J. Adhes. Dent.**, v.6, n.2, p.105-10, Summer 2004.
4. AL-SALEHI, S.K.; BURKE, F.J.T. Methods used in dentin bonding tests: an analysis of 50 investigations on bond strength. **Quintessence Int.**, v.28, n.11, p.717-23, Nov. 1997.
5. ASMUSSEN, E. Penetration of restorative resins into acid etched enamel I. **Acta Odontol. Scand.**, v.35, n.4, p.175-182, 1977.
6. ASMUSSEN, E.; PEUTZFELDT, A. Surface characteristics of adhesive monomers. **Dent. Mater.**, v.14, n.1, p.21-8, Jan. 1998.

* Normas recomendadas para uso no âmbito da Universidade de São Paulo, com base no documento "Referências Bibliográficas: exemplos", emanados do Conselho Supervisor do Sistema Integrado de Bibliotecas da USP, em reunião de 20 de setembro de 1990.

7. AUSIELLO, P.; APICELLA, A.; DAVIDSON, C.L. Effect of adhesive layer properties on stress distribution in composite restorations – a 3D finite element analysis. **Dent. Mater.**, v.18, n.4, p.295-303, June 2002.
8. BAE, J-H. et al. Adhesive layer properties as a determinant of dentin bond strength. **J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.**, v.74, n.2, p.822-8, Aug. 2005.
9. BAIER, R.E. Principles of adhesion. **Oper. Dent.**, suppl.5, p.01-9, 1992.
10. BEDRAN-DE-CASTRO, A.K.; PEREIRA, P.N.R.; THOMPSON, J. Influence of load cycling and tubule orientation on ultimate tensile strength of dentin. **J. Adhes. Dent.**, v.6, n.3, p.191-4, Autumn 2004.
11. BERTOLOTTI, R.L. Conditioning of dentin substrate. **Oper. Dent.**, suppl.5, p.131-6, 1992.
12. BITTENCOURT PAZINATTO, F.; MARQUEZINI-JÚNIOR, L.; TERESA ATTA, M. Influence of temperature on the spreading velocity of simplified-step adhesive systems. **J. Esthet. Rest. Dent.**, v.18, n.1, p.38-45, 2006.
13. BOUILLAGUET, S. et al. Ability of adhesives systems to seal dentin surfaces: an in vitro study. **J. Adhes. Dent.**, v.2, n.3, p.201-8, Autumn 2000.

14. BRÄNNSTROM, M. GARBEROGLIO, R. The dentinal tubules and the odontoblast process. A scanning electron microscope study. **Acta Odont. Scand.**, v.30, p.291-311, Sept. 1972.

15. BUONOCORE, M.G. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. **J. Dent. Res.**, v.34, n.6, p.849-53, Dec. 1955.

16. BURROW, M.F.; INOKOSHI, S.; TAGAMI, J. Water sorption of several bonding resins. **Am. J. Dent.**, v.12, n.6, p.295-8, Dec. 1999.

17. CAGIDIACO, M.C. et al. Mapping of tubule and intertubule surface areas available for bonding in Class V and Class II preparations. **J. Dent.**, v.25, n.5, p.379-89, Sept. 1997.

18. CARDOSO, P.E. et al. Microtensile bond strengths of one-bottle dentin adhesives. **Am. J. Dent.**, v.14, n.1, p.22-4, Feb. 2001.

19. CARVALHO, R.M. et al. Determinação da resistência adesiva à dentina através de um dispositivo de microtração. **Rev. Fac. Odontol. Bauru**, v.2, n.3, p.77-82, jul. 1994.

20. CARVALHO, R.M. et al. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. **Oper. Dent.**, v.21, n.1, p.17-24, Jan./Feb. 1996.

21. CARVALHO, RM. Adesivos dentinários: fundamentos para aplicação clínica. **Rev. Dent. Rest.**, v.1, p.62-96, 1998.
22. CARVALHO, R.M. et al. Tensile strength of human dentin as a function of tubule orientation and density. **J. Adhes. Dent.**, v.3, n.4, p.309-14, Winter 2001.
23. CARVALHO, R.M. **As relações ente alterações dimensionais, permeabilidade e propriedades mecânicas da matriz de dentina desmineralizada. Estudo sob a óptica da teoria dos parâmetros de solubilidade.** Bauru, 2002. 92p. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo.
24. CARVALHO, R.M. et al. Sistemas adesivos: fundamentos para a aplicação clínica. **Biodonto**, v.2, n.1, jan./fev. 2004. 86p.
25. CHO, B-H.; DICKENS, S.H. Effects of the acetone content of single solution dentin agents on the adhesive layer thickness and the microtensile bond strength. **Dent. Mater.**, v.20, n.2, p.107-15, Feb. 2004.
26. CHOI, K.K.; CONDON, J.R.; FERRACANE, J.L. The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. **J. Dent. Res.**, v.79, n.3, p.812-7, Mar. 2000.

27. COLI, P. et al. In vitro dentin pretreatment: surface roughness and adhesive shear bond strength. **Eur. J. Oral Sci.**, v.103, n.5, p.400-13, Oct. 1999.
28. D'ALPINO, P.H.P. **Influência da fonte de luz fotoativadora na resistência de união e na micromorfologia da interface adesiva de restaurações de resina composta – um estudo in vitro com microscopia de fluorescência.** Bauru, 2005. 207p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo.
29. DAVIDSON, C.; DE GEE, A.J.; FEILZER, A. The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. **J. Dent. Res.**, v.63, n.12, p.1396-9, Dec. 1984.
30. DAVIDSON, C.L. Resisting the curing contraction with adhesive composites. **J. Prosthet. Dent.**, v.55, n.4, p.446-7, Apr. 1986.
31. DAVY, K.W.M. et al. Relationship between composite matrix molecular structure and properties. **Biomaterials**, v.19, n.22, p.2007-14, Nov. 1998.
32. DE GÓES, M.F., PACHANE, C.G.; GARCIA-GODOY, F. Resin bond strength with different methods to remove excess water from the dentin. **Am. J. Dent.**, v.10, n.6, p.298-301, Dec. 1997.

33. EICK, J.D. et al. Surface Topography: Its influence on wetting and adhesion in a dental adhesive system. **J. Dent. Res.**, v. 51, n.3, p.780-8, May/June 1972.
34. ELIADES, G. Clinical relevance of the formulation and testing of dentine bonding systems. **J. Dent.**, v.22, n.2, p.73-81, Apr. 1994.
35. ELIADES, G.; PALAGHIAS, G.; VOUGIOUKLAKIS, G. Effect of acidic conditioners on dentin morphology, molecular composition and collagen conformation in situ. **Dent. Mater.**, v.13, n.1, p.24-33, Jan. 1997.
36. ELIADES, G.; VOUGIOUKLAKIS, G.; PALAGHIAS, G. Heterogeneous distribution of single-bottle adhesive monomers in the resin-dentin interdiffusion zone. **Dent. Mater.**, v.17, n.4, p.277-83, July 2001.
37. FEILZER, A.J.; DE GEE, A.J.; DAVIDSON, C.L. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. **J. Dent. Res.**, v.66, n.11, p.1636-9, Nov. 1987.
38. FERRARI, M. et al. Effect of two etching times on the sealing ability of Clearfil Liner Bond 2 in Class V restorations. **Am. J. Dent.**, v.10, n.2, p.66-70, Apr. 1997.
39. FUSAYAMA, T. et al. Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative resin. **J. Dent. Res.**, v.58, n.4, p.1364-70, Apr. 1979.

40. GALLO, J.R.; BURGESS, J.O.; XU, X. Effect of delayed application on shear bond strength of four fifth-generation bonding systems. **Oper. Dent.**, v.26, n.1, p.48-51, Jan./Feb. 2001.
41. GARBEROGLIO, R.; BRÄNNSTROM, M. Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. **Achs. Oral Biol.**, v.21, n.6, p.355-62, 1976.
42. GARCIA, F.C.P. et al. Efeito do brilho de superfície na resistência adesiva de primers experimentais à dentina. **J. Bras. Clin. Estet. Odontol.**, 2006. /no prelo/
43. GARRISON, T. Gravitation. In: _____. **Enciclopédia Britânica**, Chicago, Willian Benton publisher, 1964. v.10, p.711-27.
44. GIANNINI, M. et al. The influence of tubule density and area of solid dentin on bond strength of two adhesives to dentin. **J. Adhes. Dent.**, v.3, n.4, p.315-24, Winter 2001.
45. GWINNETT, A.J. Quantitative contribution of resin infiltration/hybridization to dentin bonding. **Am. J. Dent.**, v.6, n.1, p.7-9, 1993.
46. HASHIMOTO, M. et al. In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. **J. Dent. Res.**, v.79, n.6, p.1385-91, June 2000.

47. HASHIMOTO, M. et al. The effect of hybrid layer thickness on bond strength: demineralized dentin zone of the hybrid layer. **Dent. Mater.**, v.16, n.6, p.406-11, Nov. 2000.
48. HISAMATSU, N.; ATSUTA, M.; MATSUMURA, H. Effect of silane primers and unfilled resin bonding agents on repair bond of a prosthodontic microfilled composite. **J. Oral Rehab.**, v. 29, n.7, p.644-8, July 2002.
49. JACOBSEN, T.; SÖDERHOLM, K-J. M. Effect of primer solvent, primer agitation, and dentin dryness on shear bond strength to dentin. **Am. J. Dent.**, v.11, n.5, p.225-8, Oct. 1998.
50. KANCA III, J. Improving bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. **J. Am. Dent. Assoc.**, v.123, n.9, p.35-43, Sept. 1992.
51. KANCA III, J. Effect of primer dwell time on dentin bond strength. **Gen. Dent.**, v.46, n.6, p. 608-12, Nov./Dec. 1998.
52. KINNEY, J.H. et al. Mineral distribution and dimensional changes in human dentin during demineralization. **J. Dent. Res.**, v.74, n.5, p.1179-84, May 1995.

53. KOIKE, T. et al. Effect of multiple application of a dentin adhesive on contraction gap width of a resin-based composite. **Am. J. Dent.**, v.15, n.3, p.159-63, June 2002.
54. LABELLA, R. et al. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. **Dent. Mater.**, v.15, n.2, p.128-37, Mar. 1999.
55. MACIEL, K et al. The effects of acetone, ethanol, HEMA and air on the stiffness of human decalcified dentin matrix. **J. Dent. Res.**, v.75, n.11, p.1851-8, Nov. 1996.
56. MARQUEZINI JR, L. et al. Efeito da extensão do tempo de aplicação de dois adesivos autocondicionantes na durabilidade da adesão à dentina. In: PESQUISA ODONTOLÓGICA BRASILEIRA, 20., Águas de Lindóia, 2003. **Anais**, Águas de Lindóia, 2003. p.18.
57. MARSHALL JR, G.W. et al. The dentine substrate structure and properties related to bonding. **J. Dent.**, v.25, n.6, p.441-58, Nov. 1997.
58. MARSHALL JR, G.W. et al. Dentin demineralization; effects of dentin depth, pH and different acids. **Dent. Mater.**, v.13, n.5/6, p.338-43, Nov. 1997.
59. MJÖR, I.A. **Reaction patterns in human teeth**. Boca Raton, CRC Press, 1983.

60. MONTES, M.A.J.R. et al. A morphological and tensile bond strength evaluation of an unfilled adhesive with low-viscosity composites and a filled adhesive in one and two coats. **J. Dent.**, v.29, n.6, p435-41, Aug. 2001.
61. NAKABAYASHI, N.; PASHLEY, D.H. **Hybridization of dental hard tissues**. Tokyo, Quintessence Publishing Co. Ltd, 1998.
62. NUNES, M.F.; SWIFT JR, E.J.; PERDIGÃO, J. Effects of adhesive composition on microtensile bond strength to human dentin. **Am. J. Dent.**, v.14, n.6, p.340-3, Dec. 2001.
63. OGATA, M. et al. Effect of dentin primer application on regional bond strength to cervical wedge-shaped cavity walls. **Oper. Dent.**, v.24, n.2, p.81-8, Mar./Apr. 1999.
64. OGATA, M. et al. Influence of the direction of tubules on bond strength to dentin. **Oper. Dent.**, v.26, n.1, p.27-35, Jan./Feb. 2001.
65. OLSSON, S.; ÖILO, G.; ADAMCZAK, E. The structure of dentin surfaces exposed for bond strength measurements. **Scand. J. Dent. Res.**, v.101, n.3, p.180-4, June 1993.

66. PANIGHI, M.; G´SELL, C. Influence of calcium concentration on the dentin wettability by an adhesive. **J. Biomed. Mater. Res.**, v.26, n.8, p.1081-9, Aug. 1992.
67. PASHLEY, D.H.; HORNER, J.A.; BREWER, P.D. Interactions of conditioners on the dentin surface. **Oper. Dent.**, suppl.5, p.137-50, 1992.
68. PASHLEY, D.H. et al. Permeability of dentin to adhesive agents. **Quintessence Int.**, v.24, n.9, p.618-31, Sept. 1993.
69. PASHLEY, D.H.; CARVALHO, R.M. Dentin permeability and dentin adhesion. **J. Dent.**, v.25, n.5, p.355-72, Sept. 1997.
70. PASHLEY, E.L. et al. Effects of HEMA on water evaporation from water-HEMA mixtures. **Dent. Mater.**, v.14, n.1, p.6-10, Jan. 1998.
71. PASHLEY, E.L. et al. Effects of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive on dentine bonding. **J. Dent.**, v.30, n.2/3, p.83-90, Feb./Mar. 2002.
72. PASHLEY, D.H. et al. The effects of dentin permeability on restorative dentistry. **Dent. Clin. North Am.**, v.46, n.2, p.211-45, Apr. 2002.

73. PAZINATTO, F.B. **Efeito do condicionamento da superfície do cimento de ionômero de vidro modificado por resina e de técnicas de inserção na infiltração marginal de restaurações de resina composta.** Bauru, 2003. 120p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo.
74. PERDIGÃO, J. et al. The interaction of adhesive systems with human dentin. **Am. J. Dent.**, v.9, n.4, p.167-73, Aug. 1996.
75. PERDIGAO, J. et al. The effect of depth of dentin demineralization on bond strengths and morphology of the hybrid layer. **Oper. Dent.**, v.25, n.3, p.186-94, May/June 2000.
76. PERDIGÃO, J. et al. In vivo influence of residual moisture on microtensile bond strengths of one-bottle adhesives. **J. Esthet. Rest. Dent.**, v.14, n.1, p.31-8, 2002.
77. PEREIRA, P.N. et al. Effect of intrinsic wetness and regional difference on dentin bond strength. **Dent. Mater.**, v.15, n.1, p.46-53, Jan. 1999.
78. PEREIRA, G.D. et al. How wet should dentin be? Comparison of methods to remove excess water during moist bonding. **J. Adhes. Dent.**, v.3, n.3, p.257-64, Fall, 2001.

79. PHRUKKANON, S.; BURROW, M.F.; TYAS, M.J. The effect of dentin location and tubule orientation on the bond strengths between resin and dentin. **J. Dent.**, v.27, n.4, p.265-74, May 1999.
80. PRATI, C. et al. Thickness and morphology of resin-infiltrated dentin layer in young, old, sclerotic dentin. **Oper. Dent.**, v.24, n.2, p.66-72, Mar./Apr. 1999.
81. REIS, A. et al. Moisture spectrum of demineralized dentin for adhesive systems with different solvent bases. **J. Adhes. Dent.**, v.5, n.3, p.183-92, Fall 2003.
82. REIS, A.F. et al. The effect of organic solvents on one-bottle-adhesives' bond strength to enamel and dentin. **Oper. Dent.**, v.28, n.6, p.700-6, Nov./Dec. 2003.
83. ROSALES-LEAL, J.I. et al. Dentin wetting by four adhesive systems. **Dent. Mater.**, v.17, n.6, p.526-32, Nov. 2001.
84. RUEGGEBERG, F.A.; MARGESON, D.H. The effect of oxygen inhibition on an unfilled/filled composite system. **J. Dent. Res.**, v.69, n.10, p.1652-8, Oct. 1990.
85. RUYTER, I. E. The chemistry of adhesive agents. **Oper. Dent.**, suppl.5, p.32-43, 1992.

86. SABBAGH, J.; VREVEN, J.; LELOUP, G. Dynamic and static moduli of elasticity resin-based materials. **Dent. Mater.**, v.18, n.1, p.64-71, Jan. 2002.
87. SAKAI, H.; FUJII, T. The dependence of the apparent contact angles on gravity. **J. Colloid and Interface Sci.**, v.210, n.1, p.152-6, Feb. 1999.
88. SANO, H. et al. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength – evaluation of a micro-tensile bond test. **Dent. Mater.**, v.10, n.4, p.236-40, July 1994.
89. SATTABANASUK, V.; SHIMADA, Y.; TAGAMI, J. The bond of resin to different dentin surface characteristics. **Oper. Dent.**, v.29, n.3, p.333-41, May/June 2004.
90. SCHÜPBACH, P.; KREJCI, I.; LUTZ, F. Dentin bonding: effect of tubule orientation on hybrid layer formation. **Eur. J. Oral. Sci.**, v.105, n.4, p.344-52, Aug. 1997.
91. SEARA, S.F. et al. The Influence of a dentin desensitizer on the microtensile bond strength of two bonding systems. **Oper. Dent.**, v.27, n.2, p.154-60, Mar./Apr. 2002.
92. SHONO, Y. et al. Regional measurement of resin-dentin bonding as an array. **J. Dent. Res.**, v.78, n.2, p.699-705, Feb.1999.

93. SILIKAS, N.; WATTS, D.C. Rheology of urethane dimethacrylate and diluent formulations. **Dent. Mater.**, v.15, n.4, p.257-61, July 1999.
94. SPENCER, P. et al. Interfacial chemistry of the dentin/adhesive bond. **J. Dent. Res.**, v.79, n.7, p.1458-63, July 2000.
95. SUDSANGIAM, S.; VAN NOORT, R. Do dentin bonding strength tests serve a useful purpose? **J. Adhes. Dent.**, v.1, n.1, p.57-67, Spring 1999.
96. TANAKA, J. et al. Correlation of dentin bond durability with water sorption. **Dent. Mater. J.**, v.18, n.1, p.11-8, Mar. 1999.
97. TAY, F.R. et al. Variability in microleakage observed in a total-etch wet-bonding technique under different handling conditions. **J. Dent. Res.**, v.74, n.5, p.1168-78, May 1995.
98. TAY, F.R.; GWINNETT, A.J.; WEI, S.H.Y. The overwet phenomenon: an optical, micromorphological study of surface moisture in the acid-conditioned, resin-dentin interface. **Am. J. Dent.**, v.9, n.1, p.43-8, Feb. 1996.
99. TAY, F.R. et al. Resin permeation into acid-conditioned, moist, and dry dentin: a paradigm using water-free adhesives primers. **J. Dent. Res.**, v.75, n.4, p.1034-44, Apr. 1996.

100. TAY, F.R.; GWINNETT, A.J.; WEI, S.H.Y. Micromorphological spectrum from overdrying to overwetting acid-conditioned dentin in water-free, acetone-based, single-bottle primer/adhesives. **Dent. Mater.**, v.12, n.4, p.236-44, July 1996.

101. TAY, F.R. et al. The overwet phenomenon in two-component acetone-based primers containing aryl amine and carboxylic acid monomers. **Dent. Mater.**, v.13, n.2, p.118-27, Mar. 1997.

102. TAY, F.R.; GWINNETT, A.J.; WEI, S.H.Y. Relation between water content in acetone/alcohol-based primer and interfacial ultrastructure. **J. Dent.**, v.26, n.2, p.147-56, Mar. 1998.

103. TAY, F.R.; CARVALHO, R.M.; PASHLEY, D.H. Water movement across bonded dentin – too much of a good thing. **J. Appl. Oral Sci.**, v.12, Sp. Issue, p.12-25, 2004.

104. TOLEDANO, M. et al. Microtensile bond strength of several adhesive systems to different dentin depths. **Am. J. Dent.**, v.16, n.5, p.292-8, Oct. 2003.

105. VAN MEERBEEK, B. et al. Factors affecting adhesion to mineralized tissues. **Oper. Dent.**, suppl.5, p.111-24, 1992.

106. WALSHAW, P.R.; TAM, L.E.; McCOMB, D. Bond failure at dentin-composite interfaces with “single-bottle” adhesives. **J. Dent.**, v.31, n.2, p.117-25, Feb. 2003.

107. WANG, Y.; SPENCER, P. Hybridization efficiency of the adhesive/dentin interface with wet bonding. **J. Dent. Res.**, v. 82, n.2, p.141-5, Feb. 2003.

108. YOSHIYAMA, M. et al. Interfacial morphology and strength of bonds made to superficial and deep dentin. **Am. J. Dent.**, v.8, n.6, p.297-302, Dec. 1995.

109. ZHENG, L. et al. Relationship between adhesive thickness and microtensile bond strength. **Oper. Dent.**, v.26, n.1, p.97-104, Jan./Feb. 2001.

ABSTRACT

Influence of dentin surface inclination on bond strength and adhesive layer thickness

To determine the effect of the inclination of dentin surfaces (parallel or perpendicular to the force of gravity) and the regional variation of specimens (cervical or occlusal thirds) on the dentin bond strength and adhesive layer thickness. Twenty-five extracted human molars were sectioned in a mesio-distal direction to expose flat dentin. Standardized drop volumes of adhesive systems (Single Bond-SB and Prime & Bond 2.1-PB2.1) were applied to dentin according to manufacturer's instructions. Teeth were randomly divided into the following groups: 1A (SB, parallel), 1B (SB, perpendicular), 2A (PB2.1, parallel) and 2B (PB2.1, perpendicular). Teeth were stored in 37°C distilled water for 24h and then serially sectioned to obtain sticks with cross-sectional area of approximately 0.8 mm² for microtensile bond strength test (MTBS). The thickness of adhesive layer of the MTBS specimen was determined in a light microscope at 200X magnification. Forty-eight hours after adhesion procedures the specimens were subjected to MTBS at a crosshead speed of 0.5 mm/min. After testing, the fracture modes of each specimen were determined by examination under a 40X magnification. One and two-way ANOVA and Student-Newman-Keuls-SNK tests were performed to determine differences in MTBS and in adhesive layer thickness among groups. The correlation between MTBS and adhesive layer thickness was compared with Pearson Product Moment Correlation ($\alpha = 0.05$). Mean values (MPa \pm s.d.) for bond strength were higher

for groups 2A (52.93 ± 15.19) and 2B (52.27 ± 16.54) than for groups 1A (39.09 ± 12.90) and 1B (32.94 ± 12.42), regardless of the position of dentin surfaces. There was no difference in MTBS, despite the regional variation of specimens. The thickness of adhesive systems ($\mu\text{m} \pm \text{s.d.}$) was higher for groups 1A (11.24 ± 2.92) and 1B (18.11 ± 7.31) than those for groups 2A (4.20 ± 1.81) and 2B (3.87 ± 1.29). Group 1B provided the greater mean values of adhesive thickness followed by the Group 1A. Similar adhesive thicknesses were found for Groups 2A and 2B, but significantly lower than the other groups. There was a significant influence of the regional variation of specimens on the adhesive thickness of group 1B. No correlation was found between bond strength and adhesive layer thickness for both SB and PB 2.1 ($r = -0.224$, $p = 0.112$ and $r = 0.099$, $p = 0.491$, respectively). The inclination of dentin surface and the regional variation of specimens on the adhesive layer thickness are material-dependent. These variables do not influence the adhesive systems bond strength to dentin.