

UNIVERSIDADE TIRADENTES
CURSO DE ODONTOLOGIA

LIGAS METÁLICAS ALTERNATIVAS E SUAS PROPRIEDADES DIANTE
DAS TÉCNICAS DE FUNDIÇÃO – REVISÃO DE LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Odontologia da Universidade Tiradentes
com parte dos requisitos para obtenção
do grau de Bacharel em Odontologia.

Katharina Bispo Vieira
Maria da Gloria Dantas Barbosa Maynard
Murilo Souza Oliveira

Aracaju/SE
Junho/2008

“Os homens perdem a saúde para juntar dinheiro, depois perdem o dinheiro para recuperar a saúde. E por pensarem ansiosamente no futuro esquecem do presente de forma que acabam por não viver nem no presente nem no futuro. E vive como se nunca fossem morrer... e morrem como se nunca tivessem vivido.”.

Dalai Lama

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a DEUS por estar sempre presente em minha vida, e por sempre atender a minhas singelas orações.

Aos meus pais Antônio e Rosemary, que se alegraram com a minha alegria, que se angustiaram com os meus sofrimentos, que me ajudaram a concretizar cada um dos meus sonhos, pequenos ou grandes, acessíveis ou “quase” impossíveis, não basta dizer MUITO OBRIGADA! A vocês que com inconfundível e incomparável amor sempre entenderam as minhas necessidades e apoiaram as minhas decisões, eu ofereço todo o meu amor.

Ao meu filho Guilherme por entender os momentos de ausência e por todos os momentos felizes que tem proporcionado a minha vida.

A vovis Guiomar e a tia Cristina eu serei eternamente grata por todo carinho e atenção com que cuidaram de mim. O amor e dedicação que recebi foram indispensáveis para realização dessa conquista.

Ao meu noivo Ronaldo por todo o amor, carinho, cumplicidade e compreensão que tem me dedicado, por ter abraçado esse sonho como se fosse seu e por estar sempre ao meu lado. A sua presença torna os obstáculos da vida mais fáceis de serem transpostos.

A minha prima Rose pela amizade verdadeira, pelo companheirismo durante todos esses anos e pela dedicação e disponibilidade de sempre. MUITO OBRIGADA!!!!!!!

Aos meus irmãos Marcel e Thiago, aos meus tios(as), primos(as), e demais parentes que contribuíram direta ou indiretamente para esta conquista.

Ao meu orientador Murilo pelo ajuda e pela paciência durante a realização deste trabalho.

Ao professor Ricardo Albuquerque agradeço por todos os ensinamentos recebidos e pela grande amizade. A cada dia de nossa convivência aprendi a admirá-lo como professor e como ser humano.

As minhas amigas Jamilly, Izabelle, Patrícia, Isabel, Joane e Tatiuche, agradeço por todos os momentos de descontração. Que nossa amizade seja conservada por toda a vida.

Aos ACDs Tenisson, Igor, Alarcon e Taís agradeço pelo bom humor e pela energia positiva de sempre.

Os que procuraram e não encontraram seu nome aqui, mas que fizeram parte desta conquista e conseqüentemente da minha vida, sintam-se incluídos nesses agradecimentos.

Katharina B. Vieira

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus pais que eu amo muito, a meu irmão Moacyr in memoriam, a minha família e a todos que querem a minha vitória.

Ao professor Murilo pela paciência e orientação na realização deste trabalho, aos professores Marco Antônio, Zé Carlos, Raimundo, Dora, Eleonora, Suzane, Mirabo e a todos os demais professores um grande abraço.

A todos os meus colegas e amigos muita saudade de todos os momentos vividos, e em especial a minha amiga Jamille e o meu amigo e dupla Lucas pela energia positiva diária e a todos que fizeram e fazem parte da clínica odontológica da Unit muita saudade...

Maria da Glória

ARTIGO CIENTÍFICO

“Ligas Metálicas Alternativas e suas Propriedades diante das Técnicas de Fundição”

LIGAS METÁLICAS ALTERNATIVAS E SUAS PROPRIEDADES DIANTE DAS TÉCNICAS DE FUNDIÇÃO

Katharina Bispo VIEIRA¹; Maria da Gloria Dantas Barbosa MAYNARD²;
Murilo Souza OLIVEIRA³

RESUMO

O ouro e suas ligas durante muito tempo foram tradicionalmente os materiais de escolha para restaurações dentárias e próteses fixas. No entanto, devido a aumentos do preço do ouro, ao longo das últimas décadas, grande interesse e esforço levaram ao desenvolvimento de novas ligas, que agora são oferecidas como possíveis alternativas às ligas de ouro. O objetivo desta revisão bibliográfica foi de avaliar as ligas alternativas para fundição dentária, e a influência da técnica de fundição sobre as propriedades finais das ligas. Na avaliação de novas ligas, atenção deve ser dada à facilidade de manipulação, fundibilidade, facilidade de acabamento e polimento, resistência à corrosão e compatibilidade biológica. Concluiu-se ao final deste estudo que as propriedades mecânicas das ligas metálicas são dependentes da técnica de fundição utilizada e da sua composição.

Palavras-chave: Ligas metálicas alternativas; propriedades das ligas, técnicas de fundição.

¹ Graduanda em Odontologia pela Universidade Tiradentes; Aracaju/SE.

² Graduanda em Odontologia pela Universidade Tiradentes; Aracaju/SE.

³ Especialista e Mestre em Prótese Dentária; Professor Assistente Reabilitação Oral Protética II e Estágio Supervisionado III da Universidade Tiradentes; Aracaju/SE.

ABSTRACT

Gold and its alloys were during a long period of time materials traditionally used in dental restorations and bridgeworks. However, due to constant rises of gold in the past decades, great interest and effort culminated in the development of new alloys, which are now offered as possible alternatives to replace gold alloys. This literature review aimed at evaluating alternative alloys used at dental casting and the casting technique influence on the alloys final properties. When analyzing new alloys, it must be observed manipulation, casting, finishing and polishing facility, as well as corrosion resistance, and biological compatibility. At the end of this study was concluded that mechanical properties of metallic alloys depends on the casting technique utilized and its composition.

Key-words: Alternative metallic alloy; alloy properties; casting techniques.

INTRODUÇÃO

Os metais têm sido utilizados na odontologia por centenas de anos como materiais substitutos da estrutura dentária perdida. O ouro em forma de folha talvez tenha sido o primeiro a ser usado como material para restauração dentária. Entretanto, os metais puros, incluindo o ouro, geralmente carecem de resistência suficiente para ser usados em várias restaurações dentárias como coroas e pontes. Por este motivo vários metais são misturados para fornecer melhores propriedades físicas. Quando os metais são misturados, a mistura resultante é chamada de liga, e as ligas são transformadas em restaurações por meio da fundição. (CRAIG, POWERS; WATAHA, 2002).

Metais para fundição são usados em laboratórios odontológicos para produzir inlays, onlays, coroas, pontes metálicas convencionais, pontes metalocerâmicas, pontes adesivas, pinos intra-canais e estruturas para próteses parciais removíveis. Os metais precisam exibir compatibilidade, facilidade de fusão, fundição, soldagem e polimento, pouca contração

de solidificação, mínima reatividade com o material de revestimento, boa resistência ao desgaste, alta dureza e resistência à deflexão (ligas metalocerâmicas) e excelente resistência ao manchamento e à corrosão. (ANUSAVICE, 1998).

O objetivo exclusivo do processo de fundição é conseguir uma duplicação metálica ou metalocerâmica da estrutura dentária perdida e com a maior precisão possível. Os limites de tolerância de uma restauração fundida são desconhecidos, embora se saiba que erro de +/- 0,2% não pode ser evidenciados clinicamente. Provavelmente a precisão deveria ser maior do que a fidelidade que possa ser descoberta visualmente ou com os métodos comuns empregados em clinica pelo uso de instrumentos de sondagem. Uma precisão absoluta na adaptação não pode ser, é certo, conseguida frequentemente nas condições bucais, devido às diferenças entre as alterações dimensionais térmicas existentes entre o dente e a restauração fundida. É razoável admitir – se que quanto mais precisa a adaptação interna e as bordas da restauração ao preparo, menor será a possibilidade de infiltração marginal. (MONDELLI, 1995).

Os elementos centrais da fundição mantêm-se os mesmos de sempre, que são padrão de cera, molde a ser preenchido e liga. O progresso obtido desde o tempo de Benvenuto Cellini tem sido o desenvolvimento padronizado capaz de proporcionar precisão no mais alto nível possível. Isso levou a um estudo profundo dos materiais, suas características e uma modificação de sua composição baseada no estudo da dinâmica dos problemas da fundição. (MARTIGNONI; SCHONEMBERGER, 2001).

Sendo assim, o objetivo desta pesquisa bibliográfica foi avaliar as ligas para fundição odontológica e a influência das técnicas de fundição sobre as propriedades finais das ligas.

REVISÃO DE LITERATURA E DISCUSSÃO

A ANSI-ADA (American National Standards Institute – American Dental Association) classifica atualmente as ligas para fundição dentária em três grupos. O primeiro grupo é chamado de “ligas altamente nobres”. As ligas altamente nobres devem ter um conteúdo de metal nobre de pelo menos 60% por peso e um conteúdo de ouro de pelo menos 40%. O segundo grupo é chamado de “ligas nobres”, e essas ligas devem ter um conteúdo de

metal nobre de pelo menos 25%, mas não há estipulação do conteúdo de ouro. O terceiro grupo é chamado de “ligas predominantemente de metais básicos”, e essas ligas devem possuir um conteúdo de metal nobre menor que 25%. (ANUSAVICE, 1998; SHILLINGBURG et al., 1998; CRAIG, POWERS e WATAHA, 2002).

Segundo Craig, Powers e Wataha (2002), além da composição, as ligas de fundição dentária têm varias propriedades que são especialmente importantes no seu desempenho, incluindo faixa de fusão, densidade, resistência e dureza. As ligas não fundem em temperaturas específicas, mais possuem uma faixa de fusão. A temperatura na qual a liga se liquefaz sob o aquecimento é chamada de “liquidus”, e a temperatura na qual a liga se solidifica sob o resfriamento é chamada de “solidus”. O liquidus e o solidus de uma liga são importantes para sua fundição. Esta deve ser aquecida acima do liquidus para ser fundida com sucesso, o liquidus também determina as temperaturas de queima e os tipos de revestimentos necessários para a fundição. O solidus é importante para soldagem, porque se a operação de soldagem aquecer a liga acima dos solidus, o liga perde seu formato e o procedimento de soldagem será falho. O solidus também é importante para as ligas de união com a porcelana, que devem ser aquecidas a altas temperaturas para queimar a porcelana na liga. A densidade das ligas é importante para a fundição da liga e no seu preço final. Aquelas de alta densidade geralmente são mais fáceis de serem fundidas porque a gravidade pode acelerar a entrada do metal derretido para dentro do molde de fundição. Além disso, já que as ligas são geralmente vendidas por massa, as de alta densidade custarão mais. A resistência das ligas é importante para seu sucesso como materiais restauradores, uma liga deve ter resistência suficiente para resistir qualquer mudança permanente de seu formato, já que as pontes não podem ter sucesso caso flexionem ou distorçam. A dureza de uma liga é uma indicação da facilidade de polimento da mesma. A sua dureza está relacionada com o seu limite convencional de escoamento, assim uma liga com alto limite terá alta dureza e geralmente será mais difícil de ser polida que aquela com baixo limite.

De acordo com Guastaldi et al. (1991) uma liga metálica ideal para aplicação dentária é aquela que possui uma composição química que não tenha um efeito fisiológico adverso sobre o paciente; não esteja sujeita à desintegração e a corrosão na boca; não apresente dificuldades técnicas durante a manipulação; tenha propriedades físicas e mecânicas que sejam adequadas para a utilização clínica, tais como temperatura de fundição, encolhimento térmico, coeficiente de expansão térmica, e de ajustamento após a fundição; possa ser fundida pelo método de cera perdida; exibir boa fluidez; seja biocompatível e esteticamente satisfatória.

Por definição, as ligas altamente nobres contêm pelo menos 60% em peso de ouro, paládio ou platina e pelo menos 40% de ouro. Pelo fato de o ouro, a platina e o paládio serem caros, essas ligas são as mais caras, o que aumenta o custo da restauração. Elas também possuem densidade relativamente alta, o que as torna mais fáceis de serem fundidas. O cobre e a prata são frequentemente adicionados aos elementos nobres para aumentar a sua dureza ou a sua resistência. O conteúdo de metais altamente nobres dessas ligas, geralmente lhes conferem excelentes propriedades de corrosão na boca. (CRAIG, POWERS; WATAHA, 2002).

Com o grande aumento do preço dos metais nobres e da prata, ocorrido em 1943-74, as atenções começaram a voltar-se mais para os chamados metais básicos. Passou-se então por um período de transição, com a adaptação de materiais semelhantes aos já comumente usados para a confecção de estruturas de sustentação de próteses parciais removíveis. Essas ligas têm características atraentes, como baixo custo, grande resistência e dureza, maior temperatura de fusão e menor distorção durante a queima da porcelana. Preconizou-se seu uso em coroas totalmente metálicas, metalocerâmicas, próteses parciais fixas extensas e próteses fixas adesivas. Há várias fórmulas que utilizam níquel, cromo e cobalto, sendo as mais populares as de níquel-cromo. (SHILLINGBURG et al., 1998).

O uso cada vez mais acentuado das ligas de níquel-cromo vem proporcionando mais confiança na indicação das mesmas devido às características que apresentam como: módulo de elasticidade superior, densidade menor, resistência nove vezes maior, menor flexibilidade, alongamento satisfatório e preço bem menor que as ligas nobres. (MONDELLI, 1995).

As ligas predominantemente de metal básico possuem limite convencional de escoamento e dureza extremamente altos, mas densidades relativamente baixas. Assim, são as mais difíceis de serem fundidas e polidas, e de todas as ligas, necessitam de máquinas e de técnicas especiais. Essas ligas também são as menos caras de todas as ligas dentárias para fundição. As baixas densidades e o custo por restauração muito baixo as tornaram populares. Entretanto, o uso dessas ligas, especialmente aquelas baseadas em cobalto, permanece controverso pelo fato de sua corrosão ser relativamente alta e de ter biocompatibilidade questionável. (CRAIG, POWERS e WATAHA, 2002).

As desvantagens das ligas de níquel-cromo são as possibilidades de formação excessiva de óxidos, a dificuldade de acabamento e polimento e a biocompatibilidade duvidosa. O níquel pode provocar resposta alérgica em indivíduos sensíveis produz mais casos de dermatite alérgica que todos os outros metais combinados. No entanto, um estudo

retrospectivo de 915 restaurações fundidas, feito em 335 pacientes, não descobriu índices mais elevados de reações indesejáveis da mucosa em torno de restaurações de metais não-nobres do que em torno de restaurações de ligas de ouro. (SHILLINGBURG et al., 1998).

Em 1992 Hensten-Pettersen fez um estudo sobre os efeitos colaterais causados pelas ligas fundidas e constatou que efeitos colaterais de materiais dentários são mínimos, porém devem ser reconhecidos. O autor relatou que em pesquisas de questionários recentes sobre efeitos colaterais, a incidência foi estimada em 1:300 na periodontia e 1:2600 na odontopediatria, e que nenhuma dessas reações estava relacionada a ligas dentárias fundidas. Na prótese dentária a incidência foi calculada em cerca de 1:400, e cerca de 27% estavam relacionadas a ligas metálicas para próteses parciais removíveis (cobalto, cromo, níquel) e às ligas à base de metais nobres/ouro para restaurações metálicas fundidas em porcelana. As queixas consistiam de reações intra-orais (como vermelhidão, inchaços e dor na mucosa oral e lábios), reações liquenóides oro-gingivais e poucas incidências de reações sistêmicas. Na ortodontia, a incidência era 1:100, e a maioria das reações (85%) estavam relacionadas as partes metálicas dos dispositivos de ancoragem extra-orais. Mesmo o uso extensivo de ligas metálicas sendo considerado um dos maiores problemas na profissão, relativamente poucos casos tem sido relatados em relação a esses problemas. Alergias em restaurações dentárias em ouro têm sido mais relatadas. Ligas de paládio têm sido associadas com alguns casos de estomatite e reações liquenóides orais. A alergia a paládio parece ocorrer principalmente em pacientes que são muito sensíveis a níquel. Todas as ligas fundidas exceto o titânio demonstraram ter um potencial para desencadear reações adversas em pacientes hipersensíveis. A tolerância à indução pode ser um possível benefício do uso de ligas colocadas na região intra-oral. Em indivíduos que não são sensíveis, contatos antigênicos orais com níquel e cromo podem induzir a tolerância e não a sensibilidade. Uma variedade de doenças sistêmicas e reações tem sido apontada como causada por materiais dentários, no entanto, as queixas são geralmente pobremente documentadas.

Por volta de 1956 começou-se a utilizar a porcelana fundida sobre ligas metálicas cujos resultados mecânicos, estéticos e biológicos eram bastante promissores. No início as ligas mais utilizadas com esta finalidade foram as nobres e também várias foram as técnicas utilizadas para se conseguir uma melhor união entre a superfície metálica e a porcelana, visto que vários problemas ocorriam nessa interface como, entre outros, o deslocamento da porcelana, pois o sucesso destas restaurações dependia principalmente da adesão da porcelana à liga metálica. (MONDELLI, 1995).

Comparadas com outras ligas para restaurações metalocerâmicas, as ligas de metais básicos geralmente têm maior dureza e valores de módulo de elasticidade (rigidez) e são mais resistentes à deformação em elevadas temperaturas, mas elas podem ser mais difíceis de serem fundidas e pré-soldadas que as ligas de metais nobres. Outra desvantagem potencial das ligas à base de níquel ou de cobalto é seu potencial para separação da porcelana tendo em vista uma camada de óxido fracamente aderente ao metal. Além do mais, diferenças relativamente pequenas na composição podem produzir grandes variações na resistência coesiva do metal à cerâmica. (ANUSAVICE, 1998).

O titânio e suas ligas despertaram grande interesse nos últimos anos como alternativa ao ouro. Sua grande biocompatibilidade ficou demonstrada no uso difundido que teve como material de implante. Embora seja quimicamente ativo, portanto não nobre, forma rapidamente uma fina camada de óxido quando em contato com o ar. Entre suas outras vantagens contam-se o baixo custo, a baixa condutividade térmica e a capacidade de se ligar ao cimento de resina e à porcelana. Sua principal desvantagem é a dificuldade de fundição. Estão sendo desenvolvidas novas ligas de titânio com níquel, que possam ser fundidas por meio de métodos mais convencionais e que, segundo consta, libera quantidade mínima de níquel iônico e ligam-se bem à porcelana. (SHILLINGBURG et al., 1998).

Em 1980, Ida, Tsutsumi e Togaya fizeram um estudo para avaliar as propriedades e o uso do titânio e nas ligas de titânio para fundições odontológicas. Os autores relataram que a fundição do titânio era difícil devido a sua reatividade sob temperaturas elevadas, fácil oxidação e reação com o cadinho cerâmico. Para este estudo foram realizadas fundições em ligas de titânio contendo cobalto, cromo, níquel ou alumínio e em titânio puro, utilizando a máquina Castmatic®. Foram investigadas a temperatura de fusão, dureza, resistência à tensão, fusibilidade e manchamento. Coroas ou próteses em titânio, nunca antes confeccionadas, foram passíveis de inclusão e fundição. Os autores puderam concluir que as propriedades mecânicas e fusibilidade do titânio eram tão boas quanto às apresentadas por ligas comerciais de Co-Cr e Ni-Cr e que algumas ligas de titânio apresentavam propriedades satisfatórias para uso odontológico.

A escolha final de uma liga dependerá de vários fatores, entre os quais rigidez, fusibilidade, facilidade de acabamento e polimento, resistência à corrosão, compatibilidade com determinadas marcas de porcelana, custo e preferências pessoais do dentista e do técnico que confeccionará a restauração.

Do sistema de fundição deseja-se obter, utilizando os meios disponíveis, uma duplicata do padrão de cera com maior nível de precisão possível. Se o último ponto de

referência é o padrão de cera e este deve ser reproduzido com precisão em metal, sua relação com o troquel não deve ser diferente daquela que existia entre o padrão de cera e o troquel antes da fundição. Uma vez escolhido o material (p.ex., uma liga), a seleção de todos os outros materiais adequados ao sistema deve ser feita para aumentar a precisão do resultado final. Não teria sentido fazer um padrão de cera perfeito se não houver à disposição um sistema capaz de transformar o padrão de cera em metal, que mantenha a precisão do primeiro. É desejável que o sistema permita à liga reproduzir margens mais finas com precisão, proporcionando uma fundição com as características necessárias de dureza, elasticidade, sem porosidade, o máximo possível de resistência nas áreas onde o padrão de cera está muito fino, isto é, nas margens. (MARTIGNONI; SHÖNENBERGER, 2001).

O metal para fundição é aquecido com o auxílio de um maçarico ou eletricidade. O método mais comum para os metais de baixa temperatura (< 1200°C) é o uso do maçarico. A eletricidade é usada para temperaturas mais altas, e este tipo de fundição é chamado de 'fundição por indução'. O aquecimento correto da liga é crucial para o sucesso da fundição. Se pouco aquecido, o metal não irá fluir o suficiente para os detalhes mais refinados do anel de fundição. Se aquecer demais, o metal pode ser danificado pela perda de elementos ou o revestimento poderá rachar. (CRAIG, POWERS e WATAHA, 2002).

O método mais comum de fundir ligas de ouro tem sido o uso de um maçarico gás-ar comprimido. Um maçarico adequadamente ajustado desenvolverá uma temperatura de chama conveniente para fundir ligas de ouro odontológicas cuja variação de fusão está entre 871°C a 1038°C. Maçaricos modificados podem ser empregados com a combinação de gás natural e oxigênio. A combinação gás-oxigênio é empregada para as ligas de níquel-cromo as quais têm temperatura de fusão mais altas que as ligas de ouro ou prata-estanho. Essas combinações de gases com o oxigênio desenvolvem uma chama que é bem mais quente que a combinação de gás-ar comprimido convencional. Como resultado, essas ligas fundirão mais rapidamente e um cuidado maior deve ser tomado para impedir superaquecimento e oxidação dos metais constituintes daquelas ligas não nobres. Por essa razão, essa fonte de calor deve ser usada especificamente para as ligas do sistema cobalto-cromo, níquel-cromo, níquel-cobre-cromo, cobre-níquel-manganês e paládio-prata. Para as ligas de ouro e do sistema cobre-zinco, cobre-alumínio, prata-estanho o método que emprega o maçarico gás-ar comprimido é o que tem sido mais convencionalmente utilizado pelos laboratórios de prótese do país. (MONDELLI, 1995).

Asgar (1977) relatou que durante o processo de fundição algumas alterações poderiam ocorrer, desde a contração do padrão de cera até a contração de solidificação da liga

após a fundição. Ambas poderiam ser compensadas pela expansão do revestimento. A adaptação das peças fundidas poderia ser influenciada não só pelas alterações dimensionais do padrão de cera e dos revestimentos, mas, também, pela resistência do revestimento e rugosidade da peça fundida. Quando se utiliza centrífugas, a eliminação de gases do molde acontece em função da densidade da liga fundida. Assim, ligas com baixa densidade seriam desvantajosas. Geralmente, nos laboratórios de prótese a fundição era realizada por chama ou indução. A fusão por chama de oxigênio-acetileno era utilizada frequentemente para fundição de ligas de Co-Cr devido ao seu elevado ponto de fusão. Em geral, essas ligas têm uma grande afinidade por carbono, que poderia ser adicionado à liga durante a fundição por chama, alterando as propriedades mecânicas resultantes, deixando-a mais dura e friável. O autor concluiu que ligas com boas propriedades já existiam e o desenvolvimento de novas ligas não iria resolver problemas existentes. Seria necessário resolver problemas relacionados à fusibilidade, superfície ruim, má adaptação, dificuldade de soldagem, acabamento e polimento. Destacou que era necessário o desenvolvimento de diferentes técnicas, equipamentos e revestimentos, pois estes foram desenvolvidos para as ligas altamente nobres.

Em 1985, Asgar e Arfaei fizeram um estudo para avaliar e comparar a fundibilidade das ligas com o uso de equipamentos para fundição. Um padrão em cera especial foi delineado para avaliar a fundibilidade de cinco máquinas de fundição e quatro ligas fundidas. As máquinas de fundição utilizadas incluíam uma unidade de braço quebrado, uma unidade de indução, uma unidade de resistência e duas unidades de pressão a vácuo. As ligas incluíam uma liga à base de metal, duas ligas de alta fusão com metais nobres, e uma liga tipo III de ouro. Resultados da análise da variação mostraram que em 95% no nível de confiabilidade houve uma diferença significativa dentre as máquinas de fundição e dentre as ligas, as máquinas de fundição tiveram um efeito mais forte sobre a fundibilidade. Nenhuma tentativa foi feita para avaliar a qualidade adequada das fundições em relação ao ajuste das peças fundidas, rugosidade superficial, ou quantidade de porosidade que poderiam ter sido produzidas por diferentes máquinas de fundição ou ligas.

Em 1975a, Lewis analisou o efeito do método de fundição na composição das ligas a base de níquel. Foram realizadas fundições por indução, resistência elétrica no cadinho e sob chama de oxigênio acetileno de trinta amostras. A mesma liga foi fundida sucessivamente cinco vezes. Observou que a fundição por indução tinha algumas vantagens, como redução da quantidade de carbono e menor oxidação devido à rápida fusão do metal. A temperatura, entretanto, poderia ser elevada, pois o pirômetro registrava apenas a temperatura superficial da liga. Evidências disso foram encontradas na porção final das amostras, que

apresentaram sinais de decomposição do refratário. A fusão por resistência era um processo lento e embora evitasse o superaquecimento do metal, prolongava, indevidamente, o contato com a atmosfera. Uma fusão mais rápida era conseguida com chama de oxigênio-acetileno, mas os gases do ambiente e a natureza da chama tinham efeitos consideráveis sobre a liga e suas propriedades. Concluiu que a fundição por indução provocava menores alterações na liga após cinco refundições e que o superaquecimento, só pôde ser detectado na primeira fundição. A fundição por resistência levava às grandes mudanças na composição da liga, devidas à oxidação associada ao longo período de fusão. Essas alterações também ocorriam na fundição por chama de oxigênio-acetileno, principalmente quando a liga era superaquecida.

Mais tarde, em 1975b, o mesmo autor fez um estudo para analisar os efeitos da refundição nas propriedades mecânicas das três séries de amostras de uma liga à base de níquel. Todas as amostras então produzidas foram submetidas a um teste mecânico para determinar a resistência à tração, percentual de alongamento e a dureza das ligas após a refundição. Os resultados mostraram que para a resistência à tração os valores iniciais obtidos após a primeira fundição foram maiores quando aplicadas resistência elétrica e chama de oxi-acetileno do que quando aplicado fundição por indução, porém o declínio após sucessivas fundições ocorre de maneira dramática nas séries de resistência elétrica e oxi-acetileno, o que reflete a dificuldade de refusão das ligas anteriormente fundidas, quando aplicadas essas duas fontes de calor. Na fundição por indução os valores iniciais permanecem estáveis até a terceira fundição, o que pode ser explicado pela facilidade com que o metal é re-fundido por indução, ocorre um declínio nos valores após a quarta e quinta re-fundição, o que se deve a inevitáveis mudanças na composição da liga agindo direta e indiretamente na diminuição da fundibilidade da mesma. Para o percentual de alongamento a série de oxi-acetileno apresentou os melhores resultados seguidos pelas séries de resistência elétrica e indução, os valores foram mais elevados na primeira fundição e, posteriormente diminuía sequencialmente em todas as três séries. Os valores de dureza das séries de resistência elétrica e oxi-acetileno mostraram um alto grau de semelhança e foram consideravelmente maiores que os da série de indução, os valores também diminuía progressivamente nas três séries. O autor concluiu que as propriedades mecânicas mostram-se variar de acordo com o número de vezes que a liga foi fundida e com o método de aquecimento utilizado para derreter a liga.

A existência de micro porosidades nas três séries de amostras de uma liga a base de níquel também foi analisada por Lewis em 1975c. Amostras de cada série foram seccionadas longitudinalmente, polidas e examinadas microscopicamente para evidenciar micro porosidades. Os resultados mostraram que a presença de micro porosidades foi mais

evidente na série de indução do que na série de resistência elétrica, sendo nesta, mais evidente do que na série de oxi-acetileno. O autor relatou que a presença de micro porosidade na estrutura do metal constitui um duplo problema. Primeiramente a presença de micro porosidades após a fundição pode levar à fratura, e em segundo lugar, em qualquer estudo para avaliar as propriedades mecânicas de peças fundidas, a presença de micro porosidades nestas peças interfere na validade dos resultados obtidos.

Em 1975d, Lewis fez uma avaliação radiográfica da micro porosidade das três séries de amostras. Todas as amostras foram radiografadas para avaliação da integridade do metal e sua influência sobre as propriedades mecânicas destes. Os resultados mostraram que após a primeira seqüência de fundição em todas as três séries, as amostras produzidas por indução de fundição mostraram o mais elevado grau de imperfeição radiográfica, as amostras obtidas por resistência elétrica mostraram um grau menor de imperfeição, enquanto que as amostras obtidas por oxigênio-acetileno mostraram-se livres de falhas. A seqüência de fundições na série de indução não apresentou nenhuma tendência significativa à deterioração radiográfica, e este parece ser um achado significativo, indicando que a diminuição dos valores obtidos nas propriedades mecânicas nesta série depois de repetidas fundições da liga, se devem às mudanças na composição das amostras. Na série de resistência elétrica também não houve aumento do grau de imperfeição radiográfica depois de repetidas fundições da liga, e, por conseguinte, concluiu-se que a queda dramática dos valores das propriedades mecânicas obtidos nesta série, também se deve a mudanças na composição da liga. Na serie de oxi-acetileno, depois de repetidas fusões, as imagens radiográficas da liga mostraram um elevado grau de sua integridade, que é correspondente às suas propriedades mecânicas. O autor concluiu que foi estabelecida uma relação entre as propriedades mecânicas e o grau de integridade radiográfica do metal e que a relação existente entre a integridade do metal e o método de fundição das ligas exige uma avaliação mais aprofundada.

Em 1977, Lewis realizou outro estudo para avaliar a relação entre a técnica de fundição e o aparecimento de porosidades. Para esse estudo foram utilizadas três ligas, sendo uma de Co-Cr (Vitallium), uma de Ni-Cr (Ticonium Premium 100) e outra experimental de Ni-Cr-C. Foram realizadas fundições por indução, fundição por resistência elétrica no cadinho, sob chama de oxigênio-acetileno e fundição por indução sob atmosfera inerte de argônio. Para a análise o autor realizou radiografias, metalografia e determinou a densidade. Observou que a fundição por indução resultou em padrões grosseiros e que isto, provavelmente, se deve ao superaquecimento da ultima porção de metal, juntamente com o aumento na quantidade de gases atmosféricos solubilizados. O desenvolvimento de um

gradiente de temperatura dentro da fundição deve ser considerado como uma seria desvantagem desta técnica. Os melhores resultados foram obtidos na fundição sob chama de oxigênio-acetileno. Neste estudo o autor concluiu que a técnica de fusão tem influência efetiva no aparecimento de porosidades somente quando ligas de composição complexa são usadas.

Em 2001 Sinhoretti et al. fizeram um estudo com o objetivo de avaliar a porosidade de coroas totais confeccionadas com ligas de Pd-Ag (Pors-on) e Ag-Pd (Palliag-M). Para a fusão das ligas foram utilizadas três fontes de calor: acetileno-oxigênio, gás-oxigênio e resistência elétrica. Foram confeccionados trinta corpos-de-prova a partir de modelo de cera confeccionado sobre um troquel de aço inoxidável, os quais foram divididos em dois grupos de quinze de acordo com o tipo de liga. Posteriormente, os corpos-de-prova foram subdivididos em três subgrupos de cinco amostras cada, de acordo com o calor de fundição. Após a fundição, os corpos-de-prova foram acabados e polidos. Para a determinação da porosidade dos corpos-de-prova, foram utilizados dois métodos: densiométrico e observação microscópica. No método densiométrico, as densidades das ligas antes e após a fundição foram comparadas entre si, no método de observação microscópica, as amostras foram cortadas, polidas e observadas em microscópio eletrônico de varredura. Os autores observaram que a maior quantidade de porosidade foi promovida pela fonte de calor acetileno-oxigênio seguida pelas fontes gás/oxigênio e resistência elétrica, tanto no método densiométrico quanto no método de observação por microscopia eletrônica de varredura. Em geral, a liga Ag-Pd (Palliag-M) apresentou maior tendência para níveis mais altos de porosidade do que a liga Pd-Ag (Pors-on 4) nos dois métodos de avaliação .

Milan et al. (1997) fizeram um estudo para analisar o ajuste cervical de coroas totais metálicas confeccionadas com liga à base de prata-paládio (Palliag-M) e paládio-prata (Pors-on 4). Para fusão das ligas, foram utilizadas três fontes de calor: acetileno-oxigênio, gás-oxigênio e resistência elétrica. Após a fundição, os corpos-de-prova foram assentados sobre seus respectivos troqueis, sob carga estática de 9 kg. As leituras de interface troquel/corona foram feitas em um microscópio comparador, provido de um micrômetro digital. Os resultados indicaram que a liga de Pd-Ag (Pors-on 4) apresentou a maior média de desajuste cervical, sendo diferente estatisticamente da liga de Ag-Pd (Palliag-M); o método acetileno-oxigênio resultou na maior média de desajuste, sendo diferente estaticamente das fontes resistência elétrica e gás-oxigênio, ambas iguais estatisticamente. Nessas condições estatísticas os autores puderam concluir que a liga de Ag-Pd (Palliag-M) apresentou o melhor

ajuste cervical dentro da análise das ligas utilizadas e as fontes de calor resistência elétrica e gás-oxigênio mostraram o melhor ajuste cervical, não diferindo estatisticamente entre si.

Em 1988, Netto fez um estudo para analisar a composição suas alterações e a dureza de uma liga de Ni-Cr de uso em metalocerâmica, em função do uso de duas fontes de calor: o gás-oxigênio e o acetileno-oxigênio. Analisou-se ainda, depois da aposição da cerâmica fundida sobre as ligas, a resistência à compressão e a aderência da porcelana aos casquetes. Os três corpos-de-prova submetidos a análise da composição no microscópio eletrônico de varredura e da dureza, na Durimet®, foram obtidos através de aquisição no comércio e de fundição pelo gás-oxigênio e oxigênio-acetileno. Para os testes de resistência à compressão e aderência da porcelana às ligas, foram confeccionados cinco casquetes para cada fonte de calor. Os resultados mostraram que modificações na composição da liga de Ni-Cr, foram maiores com o uso do maçarico de gás-oxigênio. A liga fundida com o oxi-acetileno mostrou melhores respostas dos testes de composição e dureza superficial. Na resistência à compressão e na aderência da porcelana à liga, notou-se evidente superioridade do oxi-acetileno sobre o gás-oxigênio.

Em 2001, Souza Jr., Cruz e Adabo fizeram um estudo para avaliar a fluidez de ligas de metais básicos para metalocerâmica em função da fonte de calor e do tipo de liga. Foram estudadas seis ligas alternativas para metalocerâmicas, sendo duas ligas de níquel-cromo-berílio, duas ligas de níquel-cromo e duas ligas à base de paládio-prata. Os corpos de prova foram confeccionados empregando-se uma tela de nylon, com 16x16 filamentos de 0,26mm de espessura, totalizando 256 quadrados completos. As ligas foram fundidas por meio de maçarico gás-oxigênio, acetileno-oxigênio, e injetadas com o auxílio de uma centrifuga convencional ativada com quatro voltas. O valor da fluidez foi obtido pela porcentagem de quadrados completos preenchidos. Os resultados obtidos para o fator da liga metálica independente da fonte de calor empregada, mostraram médias estaticamente superiores para as ligas de níquel-cromo-berílio, seguidas em ordem decrescente pelas ligas de níquel-cromo sem berílio e pelas ligas de paládio-prata. Em relação ao fator fonte de calor independente da liga empregada, os resultados mostraram maior fluidez para os corpos-de-prova obtidos por meio de maçarico de gás-oxigênio, seguidos pelos corpos-de-prova obtidos por meio de maçarico de acetileno-oxigênio. Na interação fonte de calor e tipo de liga pôde-se observar por meio dos resultados, que na fusão por maçarico de gás-oxigênio, a liga de níquel-cromo sem berílio apresentou uma melhor fluidez, com valores semelhantes estatisticamente aos da liga de níquel-cromo-berílio, por outro lado na fusão por maçarico de acetileno-oxigênio houve redução na fluidez da liga de níquel-cromo sem berílio, que passou

a apresentar semelhança estatística com a liga de paládio-prata. De acordo com os resultados obtidos, os autores puderam concluir que: independentemente do tipo de liga empregada, os corpos-de-prova obtidos por meio de maçarico de gás-oxigênio apresentaram estatisticamente maiores valores; a utilização do maçarico acetileno-oxigênio permitiu uma fusão mais rápida de todas as ligas, mas, o aquecimento intenso durante esta fusão mostrou-se prejudicial, uma vez que pode produzir a evaporação de componentes secundários e também a incorporação de impurezas ou óxidos à liga fundida, ocasionando assim a formação de uma liga com propriedades diferentes e dificultando o escoamento da liga fundida; e que a fluidez das ligas de níquel-cromo-berílio e das de paládio-prata, não foram alteradas estatisticamente, pela variação da fonte de calor.

Em 1977, Vincent, Stevens e Basford compararam a fluidez de duas ligas nobres e três ligas de metais básicos, porém por meio de medidas de reprodutividade de padrões formados por linhas de nylon de vários diâmetros. Neste estudo, as ligas nobres apresentaram melhores resultados, segundo os autores, pela maior densidade. No entanto, trabalhos de Hinman et al. (1985), O'Connor et al. (1996) apresentaram conclusões contrárias, com melhores resultados para ligas de metais básicos, ou seja, de menor densidade. Provavelmente, a densidade não seja um fator que determina o menor ou maior grau de fluidez, mas sim composição da liga e fonte de calor empregada seja mais importante.

Em 2004, Bezzon et al. fizeram um estudo para avaliar a rugosidade na superfície de ligas de Ni-Cr e Co-Cr submetidas a duas técnicas de fundição, e as comparou a fundições em titânio c.p. (comercial puro). Amostras em Ni-Cr e Co-Cr foram fundidas por indução à vácuo e por chama de oxi-acetileno, e as amostras em titânio c.p. foram fundidas por arco elétrico em atmosfera de argônio. A rugosidade superficial das amostras foi analisada em três pontos diferentes, e também foi analisada a perda de massa antes e após o polimento, através de pesagem em balança de precisão. Os resultados apontaram que a fundição por indução proporcionou amostras mais lisas que as fundidas por chama de oxi-acetileno e estas amostras possuem lisura semelhante ao titânio c.p. Pôde-se observar também que não houve perda de massa significativa após o polimento das amostras. Foi ressaltado pelos autores que o acabamento e polimento podem compensar a rugosidade superficial resultante do processo de fundição, mas isto poderia comprometer a adaptação e a resistência da estrutura.

Em 2006, Bawer et al., fizeram um estudo para avaliar a microdureza de ligas de níquel-cromo usadas em prótese fixa fundidas sob diferentes condições. Foram utilizadas três ligas: Ni-Cr-Mo-Ti, Ni-Cr-Mo-Be e Ni-Cr-Mo-Nb. As condições de fundição foram: (1-maçarico) chama composta por uma mistura de gás-oxigênio e centrifuga sem o controle do

ambiente de fundição; (2- indução-argônio) indução eletro magnética com ambiente controlado com argônio; (3-indução-vácuo) indução eletromagnética com o ambiente sob vácuo; (4-indução-ar) indução eletromagnética sem o controle da atmosfera. Os resultados mostraram que no que dizem respeito às condições de fundição, os valores de dureza foram maiores quando os procedimentos de fundição foram realizados sem o controle da atmosfera (chama-ar; indução-ar). Como a única variável entre estes dois métodos foi a fonte de calor, foi possível concluir que as ligas de Ni-Cr são mais susceptíveis à contaminação por absorção de gás na atmosfera (como oxigênio, hidrogênio e nitrogênio) do que por elementos da própria fonte de calor. A liga de Ni-Cr-Mo-Ti apresentou a maior média de dureza, a presença de titânio nesta liga pode proporcionar a formação de mais carbonetos e nitritos, uma vez que este elemento é muito reativo ao carbono, que por sua vez, aumenta os valores das propriedades mecânicas das ligas. A liga de Ni-Cr-Mo-Nb mostrou uma dureza intermediária e a liga Ni-Cr-Mo-Be apresentou a menor dureza. Independente da composição das ligas, todas apresentaram valores de dureza maiores que os das ligas nobres, isto representa um problema destas ligas durante os procedimentos de acabamento e polimento. Um exame da microestrutura foi realizado para explicar as eventuais diferenças entre as ligas, mas todas apresentaram a mesma microestrutura.

Por outro lado, Tajima et al. (1984) relataram que fundição sob controle de argônio e da atmosfera tendem a aumentar a dureza das ligas de Ni-Cr, quando comparadas com a fundição chama-ar e indução-ar. Os autores demonstraram que a fundição chama-ar permite a mais baixa absorção de oxigênio e nitrogênio. Nenhum motivo aparente foi encontrado para explicar a polêmica entre as conclusões dos dois estudos.

Devem ser realizados estudos complementares para avaliar as alterações nas propriedades das ligas após diferentes condições de fundição, a fim de elucidar algumas controvérsias levantadas no presente estudo.

CONCLUSÃO

Com esta pesquisa bibliográfica concluímos que:

As ligas metálicas alternativas possuem características atraentes, como, grande resistência e dureza, maior temperatura de fusão, menor distorção durante a queima da

porcelana, menor densidade e baixo custo, e por essas razões têm substituído amplamente as ligas de metais nobres.

As desvantagens das ligas de níquel–cromo são a possibilidade de formação excessiva de óxidos, dificuldade de acabamento e polimento e biocompatibilidade questionável.

O titânio e suas ligas têm se tornado uma boa alternativa às ligas de ouro devido sua grande biocompatibilidade, baixo custo, baixa condutividade térmica e alta capacidade de se ligar à porcelana.

A propriedade final da liga é influenciada pela sua composição e pelo método de fundição utilizado para fundi-la.

Outras conclusões sobre a influência da técnica de fundição sobre as propriedades finais das ligas metálicas seriam especulativas, pois os resultados dos estudos parecem ser bastante contraditórios.

REFERÊNCIAS

ANUSAVICE J.K. Phillips: Materiais Dentários. 10ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara, 412p. 1998.

ASGAR K. Melting and Casting alloys. In: VALEGA T.M. Proceeding of alternatives to gold alloys in Dentistry. Maryland, p. 166-85, 1977.

ASGAR, K.; ARFAEI, A.H. Castability of crown and bridge alloys. J. Prosthet Dent., v. 54, n. 1, p. 60-3, Jul.1985.

BAUER, J.R.O.; LOGUERCIO, A.D.; REIS, A.; FILHO, L.E.R. Microhardness of Ni-Cr alloys under different casting conditions. Braz. Oral Res., São Paulo, v. 20, n. 1, p. 40-6, Jan/Mar. 2006.

BEZZON, O.L.; PEDRAZZI, H.; ZANIQUELLI, O.; SILVA, T.B.C. Effect of casting technique on surface roughness and consequent mass loss after polishing of NiCr and CoCr base metal alloys: A comparative study with titanium. J. Prosthet Dent., St. Louis, v. 92, n. 3, p. 274-7, Sep. 2004.

CRAIG, G.R.; POWERS M.J.; WATAHA C.J. *Materiais Dentários: Propriedades e Manipulação*. 7ª edição. São Paulo: Santos, 327p. 2002.

GUASTALDI, A.C.; LACEFIELD, W.R.; LEINFELDER, K.F.; MONDELLI, J. Metallurgical evaluation of a copper – based alloy for dental castings. *Quintessence Int.*, v. 22, n. 8, p. 647-52, 1991.

HESTEN–PETTERSEN A. Casting alloys: Side–effects. *Adv. Dent. Res.*, v.6, p.38-43, Sep. 1992.

HINMAN, R.W.; TESK, R.P.; WHITLOCK, E.E.; DURKOWSKI, J.S. A technique for characterizing casting behavior of dental alloys. *Dent. Res.*, v. 64, p. 134-8, 1985.

IDA, K.; TSUTSUMI, S.; TOGAYA, T. Titanium and titanium alloys for dental casting. *J. Dent. Res.*, Washington, v. 59, p. 985-91, Jun. 1980.

LEWIS, A.J. A radiographic evaluation of microporosity in a nickel base casting alloy. *Aust. Dent. J.*, Sidney, v. 20, n. 4, p. 221-7, Aug. 1975d.

LEWIS, A.J. Changes in the composition of a nickel – base partial denture casting alloy upon fusion and casting. *Aust. Dent. J.*, Sidney, v. 20, n. 1, p. 14-8, Feb. 1975a.

LEWIS, A.J. Microporosity in casting alloys. *Aust. Dent. J.*, Sidney, v. 20, n. 3, p. 161-6, Jun. 1975c.

LEWIS, A.J. The effect of variations in the technique of metal fusion on the development of internal porosity in cast structures. *Aust. Dent. J.*, Sidney, v. 22, n. 5, p. 356-9. Oct. 1977.

LEWIS, A.J. The effects of remelting on the mechanical properties of a nickel base partial denture casting alloy. *Aust. Dent. J.*, Sidney, v. 20, n. 2, p. 89-93, Apr. 1975b.

MARTIGNONI, M.; SCHONENBERGER, A. *Precisão em Prótese Fixa: Aspectos Clínicos e Laboratoriais*. 2ª edição. São Paulo: Santos, 580p. 2001.

MILAN, F.M.; MACHADO, F.; CONSANI, S.; SINHORETTI, M.A.C.; GOES, M.F.; CORRER, L.S. Influencia de três fontes de calor de fundição sobre a adaptação cervical de coroas totais metálicas. *Ver. Fac. Odontol. Univ. Passo Fundo*, v. 2, n. 2, p. 33-42, Jul./Dez. 1997.

MONDELLI, J. Ligas Alternativas para Restaurações Fundidas. São Paulo: Panamericana, 353p. 1995.

NETTO, J.M. Emprego do oxi-acetileno na fundição de liga de níquel-cromo em coroas de metalo-cerâmica. Rio de Janeiro, 1988, 61pg. Tese (mestrado)- Faculdade de Odontologia da Universidade do Rio de Janeiro, 1988.

O'CONNOR, R.P.; MACKERT, J.; MYERS, M.; PARRY, E. Castability, opaque masking, and porcelain bonding of 17 porcelain-fused-to-metal alloys. J. Prosthet Dent., v. 75, p. 367-74, 1996.

SHILLINGBUR JR., T.H.; HOBBS, S.; WHITSETT, D.L.; JACOBI, R.; BRACKETT, E.S. Fundamentos de Prótese Fixa. 3ª edição. São Paulo: Quintessence, 472p. 1998.

SINHORETTI, M.A.C.; CONSANI, S.; CORRER, L.S.; SALVIO, L.A.; MACHADO, F. Análise d porosidade em ligas metálicas fundidas com três fontes de calor. Rev. Fac. Odontol. Univ. Passo Fundo, v. 6, n. 2, p. 43-8, Jul./Dez. 2001.

SOUZA JR., O.B.; CRUZ, C.B.S.; ADABO, G.L. Estudo da fluidez de ligas de metais básicos para metalocerâmicas: Efeito da fonte de calor e tipo de liga metálica. P.C.L, v. 3, n. 11, p. 71-5, Jan/Fev. 2001.

TAJIMA, K.; KAKIGAWA, H.; KOZONO, Y.; HAYASHI, I. Oxygen and nitrogen uptake in dental Ni-Cr alloy casting by several melting methods. Dent. Mater J., v. 3, n. 2, p. 262-71, 1984.

VINCENT, P.F.; STEVENS, L.; BASFORD, K.E. Comparison of the casting ability of precious and nonprecious alloys for porcelain veneering. J. Prosthet Dent., v. 37, p. 527-37, 1977.