

COMPORTAMENTO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS EM CASO DE INCÊNDIO

Bruna Deschamps Gelsleichter¹
Murilo Pedro Demarchi²

RESUMO

O presente artigo aborda o comportamento de estruturas metálicas em casos de incêndio, tendo em vista o novo aeroporto da cidade de Florianópolis/SC, *Floripa Airport*, o qual possui sua estrutura constituída em metal. O trabalho tem como objetivo geral a análise do comportamento das principais estruturas metálicas em casos de incêndio presentes naquele local. Dessa forma, é possível trabalhar no aprimoramento da atividade de prevenção ao sinistro e oferecer ao público maior segurança. Os objetivos específicos desse artigo são: estudar as características das principais ligas metálicas utilizadas na estrutura do aeroporto; verificar se as medidas compensatórias necessárias para manter a segurança estão compatíveis como o sistema preventivo apresentado; e, por fim, estudar o comportamento dos metais em caso de incêndio e apresentar quais informações nortearão o perito na investigação das causas de um possível incêndio.

Palavras-chave: Estruturas metálicas. Incêndio. Aeroporto. Prevenção. Investigação.

1 INTRODUÇÃO

Estudos relativos à resistência ao fogo de construções metálicas iniciaram-se devido ao colapso de muitas edificações feitas com ferro fundido durante o famoso incêndio ocorrido na cidade de Chicago, nos Estados Unidos, em 1871, no qual cerca de 17 mil edifícios foram destruídos total ou parcialmente. Uma das grandes razões para a facilidade da destruição pelo fogo de edifícios construídos com ferro fundido, é que este material, ao contrário do aço, contém maiores teores de carbono em sua composição (acima de 2%, contra uma média de até 2% em aços em geral) e uma vez aquecido a altas temperaturas, e rapidamente resfriado por

¹ Cadete do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Perito em Incêndio e Explosão, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: deschamps@cbm.sc.gov.br

² Oficial do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, CFO-BM pela ABMDPII-RJ, Perito em Incêndio e Explosão, Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: demarchi@cbm.sc.gov.br

água durante operações de combate ao fogo, exibe, devido às transformações de fase pela variação brusca de temperatura, trincas e fissuras. (PANNONI 2019)

Conhecer o comportamento das estruturas metálicas quando submetidas ao calor é crucial para o caso de edificações que utilizam em sua constituição estruturas metálicas, como é o caso do novo aeroporto da cidade de Florianópolis/SC, figura 1. O presente trabalho objetiva estudar as características das principais ligas metálicas componentes da estrutura do novo aeroporto, verificar as medidas compensatórias necessárias adotadas pelo aeroporto e, por fim, citar as informações extraídas da observação de estruturas metálicas pós-incêndio que ajudariam o perito em incêndio e explosão na investigação necessária para a execução de seu trabalho. O trabalho se justifica pelo fato de o aeroporto ser uma grande estrutura com grande circulação de pessoas, pelo impacto econômico na região e pela importância do CBMSC em atuar na prevenção contra incêndio e pânico. A pesquisa, segundo Gil (2008), segue a metodologia dedutiva, é de natureza aplicada, exploratória e qualitativa, serão utilizados dados secundários, já tratados em outras bibliografias. A escolha do tema alinhou à formação acadêmica da autora, em Engenharia de Materiais, com a principal temática do presente artigo, qual seja, o estudo do comportamento de metais quando submetidos a altas temperaturas.

Figura 1: Floripa Airport (projeto)



Fonte: Cedido pelo aeroporto.

2 DESENVOLVIMENTO

Os projetos estruturais que tratam da resistência ao fogo são baseados no fato de que as altas temperaturas decorrentes de um incêndio reduzem a resistência mecânica e a rigidez dos elementos estruturais da edificação e, adicionalmente, promovem expansões térmicas diferenciais, podendo levar a estrutura ao colapso. Nesse sentido, pode-se considerar que as preocupações de segurança contra incêndio em uma edificação se referem a três passos fundamentais, quais sejam: a proteção das vidas dos ocupantes do edifício, bem como dos bombeiros que nele tenham de atuar em caso de sinistro; a proteção dos bens materiais existentes no edifício e das atividades que se desenvolvem no mesmo; e a proteção do próprio edifício contra danos oriundos de incêndios que possam ocorrer ou extrapolar para edifícios vizinhos. A segurança em caso de incêndio depende, principalmente, das condições de evacuação das pessoas e das condições para se evitar a propagação de gases, que são as causas principais das perdas de vidas humanas. (PANNONI 2019)

Em seu trabalho, Ricardo (2015) afirma que em condições normais de utilização, as estruturas possuem incertezas inerentes aos processos aleatórios aos quais estarão envolvidas ao longo da sua vida útil. Já em condições excepcionais de incêndio, segundo o mesmo autor, essas incertezas majoram, aumentando a necessidade de uma análise mais rigorosa da segurança estrutural.

2.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO

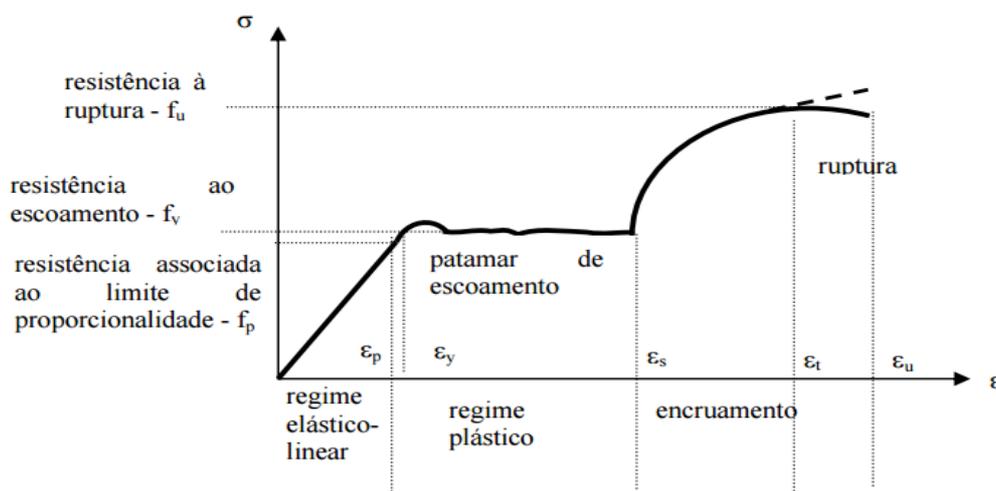
Silva e Pignatta (2012) definem a estrutura de aço, de maneira sucinta, como uma liga metálica composta de ferro com pequenas quantidades de carbono, o que lhe confere propriedades específicas, sobretudo de resistência e ductilidade, adequadas ao uso na construção civil. Dessa forma, segundo informações cedidas pela equipe responsável pela construção do aeroporto, as principais liga de aço utilizadas em sua estrutura são: SAC 350, ASTM A36, ASTM A572 e ASTM A500.

Dentro das classificações do aço-carbono sem elementos de liga, esses ainda podem ser divididos teores baixo, médio e alto carbono. Os aços de baixo carbono possuem quantidade de carbono inferior a 0,30%, a exemplo dos aços ASTM A36, ASTM 500 e ASTM A572, com limites de escoamento de 250 MPa, 250-345 MPa e de 345 MPa, respectivamente.

Já os aços de baixa liga, sem tratamento térmico, são aqueles que recebem elementos de liga com teor inferior a 2%, de modo a conferir ao aço maior resistência mecânica, acima 300 MPa, ou maior resistência à corrosão, ou ambos, a exemplo do aço SAC 350, cujo limite de escoamento é de 350 MPa e que possui alta resistência à corrosão atmosférica. (SILVA E PIGNATTA, 2012)

É possível observar na figura 2 que os metais dúcteis trabalham no regime elástico até atingir o limite de escoamento (f_v), ou seja, cessada a tensão aplicada, o material retorna ao seu estado inicial (segue a Lei de Hook), no qual a deformação linear específica é proporcional ao esforço aplicado. O valor constante dessa tensão de limite ou de resistência ao escoamento é a mais importante característica dos aços estruturais. Quando a tensão aplicada ultrapassa o limite de escoamento do metal, o mesmo entra no regime de deformação permanente, no qual os planos cristalinos do metal se deformam e se rearranjam, não mais permitindo o retorno do metal à sua posição inicial, constituindo-se assim em uma fase plástica da deformação. Adicionalmente, ocorre o fenômeno do encruamento, que modifica a estrutura cristalina dos metais em consequência da deformação plástica, causa o aumento de discordâncias na estrutura cristalina e conseqüentemente o aumento de resistência do metal, no qual se verifica novamente a variação de tensão com a deformação específica, porém de forma não linear, agindo dessa forma até que a tensão atinja a tensão de ruptura. (SILVA E PIGNATTA 2012)

Figura 2: Diagrama tensão x deformação dos aços estruturais, em escala deformada.



Fonte: Silva e Pignatta (2012)

O valor máximo da tensão antes da ruptura é denominado resistência à ruptura do material. A resistência à ruptura do material é calculada dividindo-se a carga máxima que ele suporta, antes da ruptura, pela área da seção transversal inicial do corpo de prova. Observa-se que o f_u é calculado em relação à área inicial, apesar de o material sofrer uma redução de área transversal quando solicitado por tração, embora a tensão verdadeira deva ser calculada considerando-se a área real. Cumpre ressaltar que existem ainda as tensões residuais que são geradas a partir das diferentes velocidades de resfriamento, após a laminação do metal, ou também pelo processamento do metal a posterior, como em perfis soldados. (SILVA E PIGNATTA, 2012)

Outra característica do aço é a fluência, que é a deformação plástica que ocorre num material, sob tensão constante ou quase constante, em função do tempo e da temperatura (40% a temperatura de fusão do metal em análise). Uma barra de aço, mantida à tensão constante e à alta temperatura constante, chegará à ruína por fluência, pois o aço torna-se viscoso perdendo grande parte de sua resistência. Considerando as curvas realísticas temperatura x tempo de incêndio, a deformação por fluência dos aços estruturais tende a um valor limite, viabilizando-se assim a utilização de estruturas de aço a altas temperaturas. (SILVA 1997)

2.2 MEDIDAS DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

As construções metálicas atuais em aço não são tão facilmente destruídas pelo fogo. Entretanto, um dos pontos mais importantes nos projetos de construção civil é reduzir o risco de incêndio e, caso estes ocorram, aumentar o tempo de início de deformação da estrutura, conferindo, assim, maior segurança a estas construções. As normas atualmente observadas no Brasil são: a ABNT NBR 14323:2013 e a ABNT NBR 14432:2001, relativas ao dimensionamento de estruturas de aço em incêndios e às exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações de segurança contra incêndios. Nesse sentido, a legislação para construção civil de vários países estabelece exigências mínimas de resistência ao fogo para os componentes estruturais (que varia de 1/2 a 2 horas, dependendo do tipo da edificação). As normas de segurança, em geral, levam em consideração uma temperatura crítica na qual o aço perde uma proporção significativa de sua resistência mecânica ou atinge um estado limite de deformações ou de tensões, ou seja, uma temperatura que represente uma condição de falha, que pode representar o colapso da estrutura. (PANNONI 2019)

As medidas de segurança e proteção contra incêndio podem se classificar em ativas e passivas. As medidas ativas são tipos de proteções contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio. Essas medidas também visam reduzir a probabilidade de ocorrência de incêndios severos, através da atuação em suas causas acidentais e da detecção de focos e limitações das possibilidades de propagação. (NBR 14432)

Segundo Correia (2007), as estruturas passivas visam reduzir a probabilidade de colapso de estruturas sempre que ocorra um incêndio severo. Esta probabilidade depende da resistência ao fogo, a qual compreende três aspectos, ou seja, a capacidade resistente da estrutura, a sua integridade perante ao fogo e a sua capacidade de isolamento térmico. Esses aspectos devem ser observados para os vários elementos da construção. Para isso, as estruturas passivas devem ter propriedades como: elevado calor específico; reduzida condutividade térmica; baixa massa específica; garantia de integridade durante a evolução do incêndio, sem apresentar fissuras ou descolamentos; resistência mecânica adequada; e, por fim, um custo viável.

De acordo com a IN 001/DAT/CBMSC, que trata sobre a atividade de fiscalização de edificações no que tange à segurança contra incêndio e pânico, o novo aeroporto de Florianópolis enquadra-se como uma edificação com reunião de público sem concentração³, devendo, portanto, prever medidas passivas e ativas de proteção contra incêndios, quais sejam: a existência de compartimentação, de proteção por extintores, de saídas de emergência, de iluminação de emergência, de sinalização de abandono de local, de sistema hidráulico preventivo, de chuveiros automáticos, de sistema de proteção por descargas atmosféricas, de plano de emergência, de brigadistas e de sistema de alarme e detecção de incêndio.

Para Vargas (2003), a solução mais frequentemente empregada, para evitar o aumento excessivo da temperatura das estruturas de aço em situação de incêndio, é revesti-las por meio de materiais de proteção térmica. Sendo tipos comuns desses materiais: argamassa projetada “Cimentitious”; fibra projetada; placas; e pintura intumescente. Segundo a NBR 14432:2001, o *Floripa Airport* classifica-se de modo que a temperatura requerida de resistência ao fogo

³ Art. 115. Para determinação dos sistemas e medidas de segurança contra incêndio e pânico, o imóvel é classificado em uma das seguintes ocupações: [...] XV – reunião de público sem concentração (auditórios ou salas de reunião com até 100m², restaurantes, lanchonetes, bares, cafês, refeitórios, cantinas, templos religiosos com assentos (cadeiras, bancos ou poltrona), museus, cartórios, piscinas cobertas sem arquibancadas, galerias de arte, bibliotecas, rodoviárias, parques de diversões, aeroportos, aeroclubes);

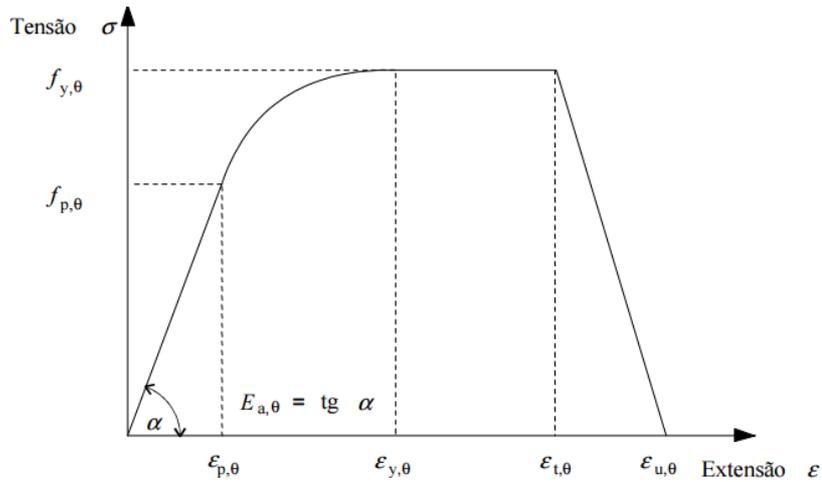
(TRRF) seja 60 minutos. Para que essa TRRF estrutural seja alcançada, fez-se uso de argamassa projetada nos pilares, painel de drywall resistente ao fogo nos corredores e pintura intumescente nas vigas.

2.3 ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Quando um incêndio é deflagrado em uma edificação, a sua ação se faz sentir diretamente nos elementos estruturais que o constituem na zona de origem e, indiretamente, em zonas mais ou menos afastadas desta. As propriedades mecânicas e químicas dos materiais que constituem os elementos estruturais degradam-se com o aumento da temperatura. A ação do incêndio não se faz sentir unicamente nos elementos diretamente sob a ação do fogo. Toda a estrutura da edificação encontra-se sob a ação do peso próprio, de forma que, no início do incêndio, a mesma está submetida a um certo estado inicial de tensão e, portanto, a um determinado estado de deformação. A este estado inicial de tensão, vem sobrepor-se um novo estado de tensão, resultante do aquecimento diferencial a que os elementos estruturais ficam submetidos. De fato, os vários elementos constituintes da estrutura encontram-se mais ou menos rigidamente interligados e quando alguns deles são mais aquecidos do que outros, as respectivas dilatações térmicas são restringidas, de modo que um novo estado de tensão desenvolve-se à medida que o incêndio se desenvolve. A sobreposição deste estado de tensão com o estado de tensão inicial dá origem a um estado de deformação, que é também variável no tempo. (PANNONI 2019)

A relação “tensão \times deformação do aço” em temperaturas elevadas, proposta por Eurocode (2005), é determinada por meio de ensaio térmico transiente, com taxa de aquecimento entre 2° C/min e 50° C/min, relativos aos valores a 20° C, da resistência ao escoamento e do módulo de elasticidade, como ocorre na maioria dos casos reais de estruturas metálicas expostas ao fogo. A figura 3 ilustra quatro estágios distintos da curva tensão \times deformação. No primeiro estágio, observa-se uma resposta linear da relação constitutiva, até que o elemento atinja a tensão de proporcionalidade. No segundo trecho, a curva segue o comportamento elastoplástico com encruamento (deformação). A terceira parte representa o escoamento da barra. E o último estágio da curva é caracterizado pelo decréscimo linear total da tensão.

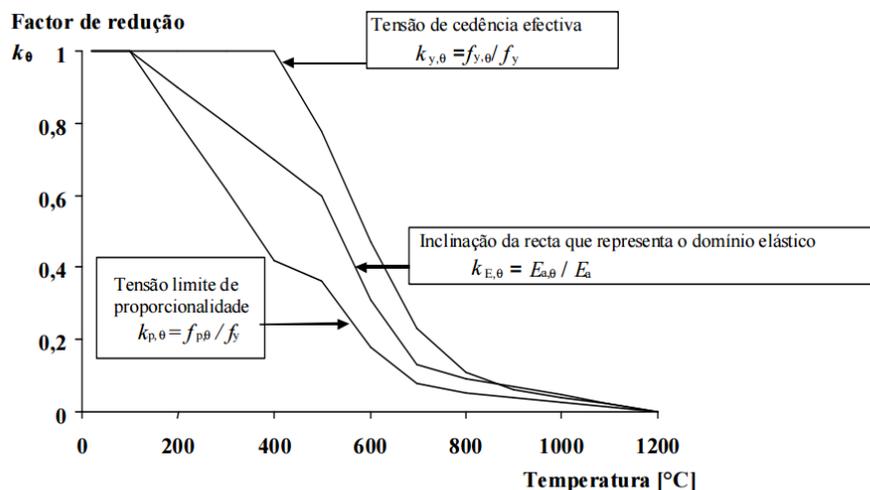
Figura 3: Relação tensão x deformação do aço em temperaturas elevadas.



Fonte: EUROCODE (2005)

Segundo Vargas (2003), a curva “temperatura x tempo real de um incêndio” é difícil de ser estabelecida, pois depende dos seguintes fatores: tipo, quantidade e distribuição da carga de incêndio (material combustível presente no compartimento em chamas); grau de ventilação do compartimento calculado a partir das dimensões das aberturas (janelas, portas) para o ambiente externo; tipo de material; e espessura dos elementos de vedação do compartimento. Além disso, a estrutura metálica em situação de incêndio também depende do fator de massividade (formato), da massa específica, do calor específico do aço, do fluxo de calor por unidade de área e do tempo de exposição ao fogo.

Figura 4: Fatores de redução para a relação tensão x deformação com o aumento da temperatura



Fonte: EUROCODE (2005)

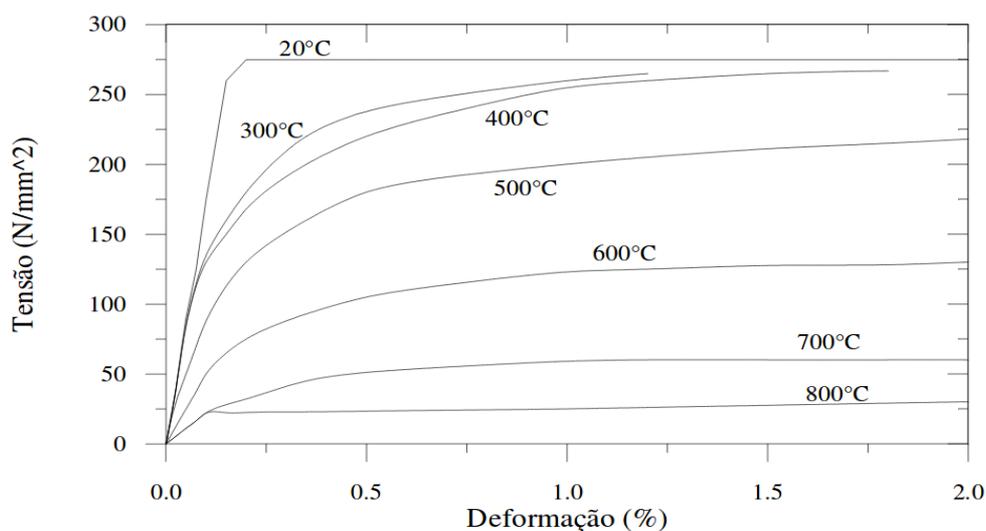
Corroborando com a figura 3, segundo a ABNT NBR 14323:2013, a figura 4 ilustra a redução de resistência ao escoamento ou limite de proporcionalidade que se inicia aos 100° C assim como o do módulo de elasticidade do aço e, por fim, a redução do limite de resistência à ruptura, indicado na figura 4 como *cedência efetiva* que a partir de 400° C começa a perder resistência quando exposto a altas temperaturas. (EUROCODE 2005)

A ABNT NBR 14323:2013 auxilia no dimensionamento de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio, tratando, em especial, das lajes mistas de aço e concreto, também conhecidas como lajes com fôrma de aço incorporada, ou *steel deck*. Uma das principais funções do *steel deck* é a eliminação parcial ou total de escoras durante a concretagem, possibilitando a realização simultânea de etapas da construção em diferentes pavimentos. As lajes do *Floripa Airport* são nesse modelo, em temperatura ambiente, têm a fôrma de aço como suporte na concretagem e como armadura positiva após a cura do concreto. Mas, em temperatura elevada, a partir de 400° C, a fôrma sem proteção passiva perde resistência devido à redução do limite de resistência à ruptura, figura 4, e pode não trabalhar mais solidária ao concreto da laje, já a fôrma com algum tipo de proteção resistiria ao incêndio por algum tempo, oferecendo chance para a população escoar do local. (LIMA, 2005)

Na Figura 5, observa-se que os elementos estruturais, sem proteção passiva, têm a resistência reduzida com a elevação da temperatura até o ponto de colapso do elemento estrutural. Essa temperatura é denominada de temperatura crítica, como já comentado. Segundo pesquisas, essa temperatura crítica gira em torno de 500 a 700 °C para pilares e vigas de aço. (VASCONCELOS 2009)

Com a laje em *steel deck* e as vigas em metal, elementos de ligação são necessários e segundo a NBR 14323:2013 a resistência ao fogo de uma ligação aparafusada ou soldada é suficiente desde que a resistência térmica da proteção contra incêndio da ligação seja igual ou superior ao valor mínimo de resistência térmica da proteção contra incêndio aplicada a qualquer dos elementos ligados. A NBR 14323:2013 trás ainda que a espessura do material de proteção contra incêndio aplicado localmente sobre qualquer parafuso pode ser reduzida à metade da espessura aplicada em partes adjacentes da ligação.

Figura 5: Curva de tensão e deformação do aço por faixa de temperatura.



Fonte: Vasconcelos (2009)

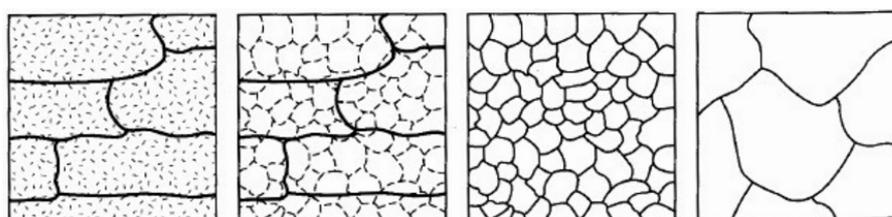
A estrutura metálica submetida ao aquecimento derivado de incêndios apresenta modificação em suas propriedades mecânicas após o resfriamento, seja ele lento ou brusco. Essas modificações se justificam pelo fato de que o metal encontra-se sujeito à modificação de sua microestrutura após a variação de temperatura. Um dos tratamentos possíveis de acontecer é o recozimento, que consiste em aquecer o aço até um patamar, por exemplo para o aço ASTM A36 843°C e 871°C, com o objetivo de aumentar a ductilidade, administrando-o por certo período de tempo e resfriando-o lentamente, caso haja combate ao incêndio e o resfriamento seja rápido, poderá haver a fragilização do metal pelo processo de têmpera no qual acontece a formação da microestrutura martensítica (extremamente dura e inelástica). Outro tratamento térmico possível pode acontecer durante um incêndio de baixa intensidade (a partir de 400° C) é a recristalização, que é a formação de um novo conjunto de grãos livres de tensão e com dimensões aproximadamente iguais em todas as direções com baixa densidade de discordâncias. Esse fenômeno é motivado pela diferença na energia interna entre uma região deformada plasticamente e outra não deformada somado ao aumento de temperatura. (CALLISTER, 2008.)

Quando o material está encruado (deformado plasticamente) e atinge a temperatura de recristalização, ocorre uma forte mudança na microestrutura, os grãos deformados sofrem nucleações e o material tende a recuperar todas as propriedades anteriores da deformação. Durante a recristalização, ocorre o movimento dos contornos de grão à medida que os novos

núcleos de grãos se formam e então crescem. Os átomos de impurezas se segregam preferencialmente e interagem com esses contornos de grão recristalizados resultando no aumento da temperatura de recristalização, por vezes de maneira substancial. A recristalização atinge diretamente a dureza do material pois devido à formação de novos grãos de tamanho pequeno, reduz-se. A recristalização pode ser considerada concluída quando os novos grãos formados se encontrarem, conforme indicado na terceira imagem da figura 6. (YIN 2011)

A figura 6 indica uma sequência de imagens do processo que desencadeia a recristalização. Inicialmente uma estrutura encruada, com o aumento da temperatura acontece a recuperação dos grãos (processo no qual ocorrem alguns rearranjos atômicos para posições mais estáveis e a dureza é praticamente inalterada), com o aumento continuado da temperatura ocorre a recristalização e, posteriormente a 700°C o crescimento dos grãos. Quando o processo de aquecimento estaciona na temperatura de recristalização por algum tempo acontece uma redução drástica das propriedades mecânicas do metal devido à redução do tamanho de grão e quando o incêndio aumenta de intensidade (700°C), os grãos crescem conferindo ao metal um aumento na resistência mecânica, mesmo que haja extinção do incêndio o metal já adquiriu outras propriedades diferentes daquelas para que foi projetado. Caso o incêndio se desenvolva, o metal pode atingir a temperatura crítica conforme já mencionado em capítulos anteriores e falhar.

Figura 6: Encruamento, recuperação, recristalização e crescimento do grão.



Fonte: Cortes (2015)

Uma vez que seja possível averiguar a temperatura do metal em incêndio, por meio de uma câmara térmica, para temperaturas abaixo de 400°C não haveria comprometimento da estrutura pela modificação microestrutural pois esta não ocorreria a essa temperatura. Em consequência disso, o combate ao incêndio com água abaixo dessa temperatura não afetaria a integridade da edificação (pela modificação microestrutural). Ressalta-se, porém, que para temperaturas superiores a 100°C ocorre a redução do limite de escoamento do material. Já

para temperaturas que ultrapassem os 400°C, o limite de resistência à ruptura estará em processo de redução, assim como a microestrutura estará sujeita a modificações (seja pelo aquecimento acentuado, seja pelo resfriamento súbito). Dessa forma, para temperaturas que superem os 400°C, o combate ao incêndio com o jato neblinado (de forma mais homogênea possível) ao longo do pilar/viga é o mais indicado, de modo a não impor tensões diferenciais tão drásticas à estrutura (alteração microestrutural e indução de tensões residuais, que podem levar a uma maior fragilidade do metal).

2.4 INFORMAÇÕES QUE AUXILIEM OS PERITOS

Após a ocorrência de um incêndio em uma edificação, a preocupação principal é a garantia de que sua estabilidade esteja preservada, dessa forma, é necessário atentar para o limite da estabilidade estrutural no qual o limite de resistência ao calor depende do limite de ruptura da viga. A estrutura só pode ser reutilizada após um incêndio se for adequadamente verificada, essa verificação pode eventualmente concluir que não existe necessidade de recuperação da estrutura se o incêndio for de pequena severidade ou se a estrutura apresentar a proteção necessária. Em caso contrário, deve ser projetada e executada a sua recuperação. Essa recuperação pressupõe que a estrutura volte a ter as características que apresentava antes do incêndio, incluindo todas as capacidades últimas e de serviço exigidas. (NBR 14323:2013)

As informações iniciais a se coletar da análise serão: tempo de duração do incêndio, existência de estrutura passiva, existência de estrutura ativa e se houve algum tipo de combate feito pelos ocupantes da edificação ou pelo bombeiro militar. Posteriormente à inspeção visual de áreas adjacentes e das áreas atingidas conforme mostram as figuras 7, 8, 9 e 10 verificar o que foi atingido dentro do ambiente em que ocorreu o incêndio, se a estrutura deformou, colapsou, observar a região de maior queima e deformação, a qual direciona para a zona de origem e o foco inicial.

Os metais conduzem calor por radiação, condução e convecção, muitas vezes atingindo estruturas desprotegidas de outros compartimentos rapidamente, essa variação de temperatura do incêndio impõe uma série de tensões diferentes na estrutura metálica, pois em um foco do incêndio pode ter ocorrido a deformação de um pilar, figura 7, pela redução do limite de resistência ao escoamento enquanto em outro foco pode ter apenas ocorrido o recozimento ou recristalização, algo que deixa a viga mais dúctil e mais suscetível à falha,

mas sem deformação aparente. Caso o combate com água tenha ocorrido, é possível a formação de martensita, uma microestrutura de elevada dureza e alta fragilidade, sujeitando o metal à falha pela fratura frágil. Observa-se que nas figuras 8, 9 e 10 a viga está deformada enquanto o pilar mantém-se aparentemente íntegro, esse fato pode ser explicado pelo fator massividade ou formato da estrutura. A viga é mais esbelta que o pilar e o fluxo de calor que percorreu a viga contribuiu para que ela alcançasse a temperatura crítica antes do pilar.

Essas modificações microestruturais quando não resultam em deformação ou colapso estrutural, tornam-se informações difíceis de serem percebidas pelo perito, este devendo atentar para as modificações microestruturais que acontecem quando o metal recebe calor, o qual não oferece mais a segurança para que foi projetado.

Figura 7: Colapso de coluna interna.



Fonte: SIMMS 2002

Figura 8: Topo de um dos pilares aquecidos



Fonte: VARGAS 2003

Figura 9: Deformação do feixe da placa da aleta na conexão da coluna



Fonte: WANG 2002

Figura 10: Compartimento após o sétimo grande teste de Cardington



Fonte: WANG 2002

3 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou através de uma revisão bibliográfica sobre o comportamento das estruturas metálicas em situação de incêndio, verificar como o metal se comporta quando submetido a altas ou baixas (incêndio ameno) taxas de calor, e como é possível trabalhar no aprimoramento da atividade de prevenção ao sinistro e oferecer ao público maior segurança. Dessa forma o objetivo geral do trabalho foi atendido.

Outro ponto relevante, foi a pesquisa sobre as propriedades mecânicas dos metais à temperatura ambiente, levando em conta as principais ligas utilizadas na confecção do aeroporto, e posteriormente recepcionar as medidas de segurança passiva e ativa propostas pelo *Floripa Airport*, verificando em quais exigências da instrução normativa do CBMSC para estruturas com reunião de público sem concentração de público e das normas nacionais NBR 14432:2001 e 14323:2013 se enquadra o aeroporto, cumprindo os dois primeiros objetivos específicos propostos no presente trabalho.

Após todas as análises e revisão bibliográfica é importante saber quais informações ajudariam o perito na investigação. Durante a inspeção visual atentar para alguns detalhes como a duração e intensidade do incêndio e a averiguação do fenômeno da modificação da microestrutura do metal, entre outros meios de falha do estrutura metálica. A metodologia de investigação empregada é o passo a passo difundido para perícias no CBMSC.

Por fim, a pesquisa abordou sobre o comportamento das estruturas metálicas em caso de incêndio e teve como justificativa e foco principal o novo aeroporto de Florianópolis. Metais em incêndios perdem gradualmente a estabilidade estrutural, resistência e rigidez, e podem a uma temperatura crítica falhar e em decorrência disso é necessário que os sistemas preventivos estejam de acordo com as normas preestabelecidas para que haja tempo para a população evacuar e para o bombeiro combater. Por todo o exposto, deve-se estar atento durante a perícia nos indicativos que os metais oferecem quanto a zona de origem, a temperatura do incêndio entre outros citados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14323:2013 **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, (2013).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14432:2001 **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações**. Rio de Janeiro, (2013)

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais, Uma Introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2008.

CORREIA, Elicarlos Vionet Scaramussa. **Comportamento, análise e procedimentos de automatização no dimensionamento ao fogo de estruturas de aço**. Universidade Federal do Espírito Santo programa de pós-graduação em engenharia civil. Vitória, 2007.

CORTES, Raphaella. **Discordâncias e Mecanismos de Aumento de Resistência**. 2015 Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/392500/>>. Acesso em: 14 Março 2019

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1993 1-2:2005 Eurocode 3 - **Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design**. Brussels, 2005.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 2008. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

_____. Instrução Normativa nº001/DAT/CBMSC. **Da Atividade Técnica. Florianópolis 2015**. Disponível em: <https://dat.cbm.sc.gov.br/images/arquivo_pdf/IN/IN_01_17-04-2015.pdf>. Acesso em: 28 fevereiro 2019.

LIMA, RCA. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas**. 2005. Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

PANNONI, Domingos Fabio Coletânea do uso do aço. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 4ª Edição 2007. Disponível em: <http://www.onety.com.br/laminacao/downloads/8_protecao_estruturas_met_corrosao_incendio.pdf>. Acesso em: 12 de fevereiro 2019.

PANNONI, Domingos Fabio, **Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo**. Portal metálica, construção civil. Disponível em: <<http://wwwo.metlica.com.br/protecao-de-estruturas-metalicas-frente-ao-fogo>> Acesso em: 12 de fevereiro 2019.

RICARDO, ALVERLANDO SILVA. **Análise da confiabilidade estrutural de elementos de aço em situação de incêndio**. Universidade federal de santa catarina programa de pós-graduação em engenharia civil. Florianópolis, 2015.

SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas de aço em situação de incêndio**. São Paulo. 1997. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Valdir_Silva/publication/270393280 ESTRUTURAS_

DE_ACO_EM_SITUACAO_DE_INCENDIO/links/54a92c310cf257a6360c1a7f/ESTRUTURAS-DE-ACO-EM-SITUACAO-DE-INCENDIO.pdf> Acesso em: 12 de fevereiro 2019.

SILVA, Valdir Pignatta e. Dimensionamento de estruturas de aço Apostila para a disciplina PEF 2402 – **Estruturas metálicas e de madeira**. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, junho de 2012.

SIMMS, W I BEng, PhD, G M Newman BSc(Eng), CEng, MStructE, MIFireE. **Single Storey Steel Framed Buildings in Fire Boundary Conditions**. Published by: The Steel Construction Institute, Silwood Park, Ascot, Berkshire. 2002

VARGAS, Mauri Resende. **Resistência ao fogo das estruturas de aço**/ Mauri Resende Vargas, Valdir Pignatta e Silva.- Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2003. Disponível em: <http://www.academia.edu/19127675/Resist%C3%Aancia_ao_fogo_das_estruturas_de_a%C3%A7o>. Acesso em: 23 de fevereiro 2019.

VASCONCELOS, Carneiro Raphael. Universidade Estadual de Feira de Santana. Departamento de tecnologia. Engenharia civil. **Análise e dimensionamento de estruturas de aço submetidas à situação de incêndio feira de santana**, BA - Brasil 2009.

WANG Y.C. **Steel and Composite Structures, Behaviour and Design for Fire Safety**, Spon Press, London 2002, ISBN 0-415-24436-6

YIN. **Metallurgical Process Engineering**. 2011