

Adequação ambiental e eficiência energética para o Museu de Arte Sacra da Bahia.

Dra. Griselda Pinheiro Klüppel;

Professora Associado I, da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia. Endereço Rua Rodrigo Argolo, no 251, apto 401, Rio Vermelho, Salvador, Bahia. CEP 41.940 – 220. Fone e fax.: (71) 32487774, cel (71) 91927668. Email: griseldak@gmail.com

Ana Vitória Mello de Souza Gomes

Arquiteta formada pela Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia. Especialista em Conservação e Restauro de Conjuntos e Monumentos Históricos pelo CECRE (Curso de Especialização em Conservação e Restauro de Conjunto e Monumentos Históricos) pela Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA/ IPHAN/ UNESCO).

Dra. Márcia Rebouças Freire

Professora Adjunto da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia.

Resumo

O presente artigo relata os projetos desenvolvidos para adequação ambiental e maior eficiência energética para o Museu de Arte Sacra da UFBA. As propostas visaram garantir a conservação preventiva dos acervos, bem como, corrigir as condições de conforto humano para os usuários do espaços. Nesse sentido, foram desenvolvidos sistemas de proteção da radiação direta e difusa e sistemas de ventilação misto, na base do mobiliário expositivo, para as salas de exposição permanente, assim como procedido o tratamento e acondicionamento passivo e mecânico da Reserva Técnica e um sistema de ventilação, por diferença de pressão, para a nave da Igreja de Santa Teresa. Para a definição dessas propostas foram procedidos diferentes levantamentos de dados ambientais e climáticos, bem como, desenvolvidos modelos e protótipos que passaram por processos de avaliação e testes, antes de suas aplicações. Após a implantação dos sistemas foram verificadas melhorias significativas, sob o ótica do conforto térmico para os usuários do MAS e a garantia a conservação preventiva dos acervos em exposição e reserva, sendo mitigado os problemas ambientais identificados. Os projetos tiveram apoio financeiro da VITAE e da Caixa Econômica Federal.

Resumen

Este artículo presenta la adecuación ambiental y eficiencia energética desarrolladas para el Museo de Arte Sacra de la UFBA. Las propuestas tuvieron por objeto garantizar la conservación preventiva de las colecciones y la corrección de las condiciones ambientales para el confort térmico de los usuarios de los espacios. Para ello, se han desarrollado sistemas de protección contra las radiaciones directas y difusas y sistema de ventilación mixta, en la base de los muebles expositores en las salas de exposición permanente, así como la corrección ambiental de la Reserva Técnica y un sistema de ventilación, por diferencia de presión, para la nave de la iglesia de Santa Teresa. Para definición de todos los sistemas de control ambiental se han desarrollado diferentes toma de datos ambientales, así como el montaje de modelos y prototipos que han sido sometidos a procesos de evaluación y pruebas antes de su aplicación. Después de la instauración de los sistemas se ha detectado mejoras significativas, bajo la óptica de la comodidad para los usuarios con la garantía de la conservación preventiva de las colecciones en exhibición y en reserva. Los proyectos han recibido el apoyo financiero de la Fundación VITAE y de la Caixa Economica Federal.

1. Introdução

Frequentemente os edifícios históricos são utilizados como espaços museais, entretanto, na maioria das vezes, não são feitas adaptações necessárias para adequá-los convenientemente para receber os acervos, ou estas adaptações requerem um custo elevado para garantir a conservação preventiva das obras em exibição ou em reserva. Esse artigo apresenta quatro distintas propostas para adequação ambiental, no sentido de promover a conservação preventiva do acervo e assegurar baixo consumo de energia elétrica, desenvolvidos para o Museu de Arte Sacra da Bahia – MAS. Instalado, desde 1959, no complexo compreendido pelos edifícios da Igreja e Convento de Santa Teresa, construídos no século XVII (1665), e tombado como monumento nacional pelo IPHAN em 1938, o MAS, pertencente a Universidade Federal da Bahia, abriga uma das maiores coleções de arte sacra da América do Sul, constituída por esculturas em diversos suportes, objetos e alfaias de prata e outros metais, paramentos litúrgicos e mobiliários, assim como, bens artísticos integrados aos edifícios, como altares, painéis de azulejos e de madeira e uma biblioteca com várias obras raras.

O conjunto, convento e igreja, que compoem o MAS, apresenta planta aproximada a um quadrado com os lados orientados aos quatro pontos cardeais principais (Figura 1), e a maioria das salas de exposição permanente encontra-se no setor oeste do edifício, com as aberturas voltadas para a paisagem da Baía de Todos os Santos, nessa orientação. Esta localização resulta em uma forte recepção de radiações solares diretas e difusas, além de reflexões de albedo, da água do mar, no interior dos espaços expositivos.

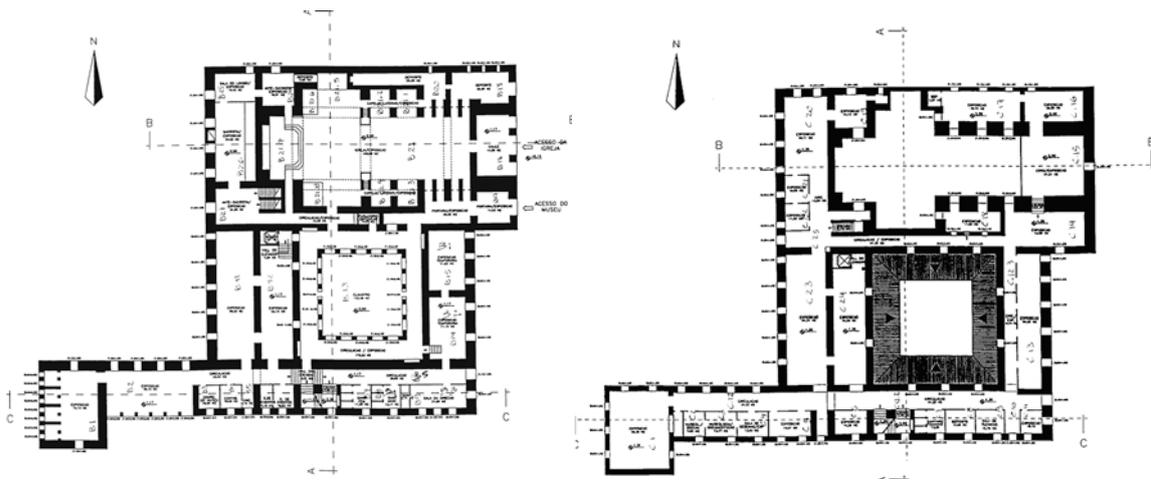


Figura 1 – Plantas baixas dos níveis 2 e 3 do Convento e Igreja de Santa Teresa – MAS.

Para mitigar os danos resultantes dessas condições ambientais e manter a iluminação natural nas salas, foi proposto um sistema de proteção nas aberturas capaz de garantir luminosidade suficiente para visualização das peças expostas, durante um bom período diurno, sem mascaramento das cores originais nem a necessidade de acionamento de iluminação artificial, ao tempo em que bloqueia parte das radiações, nas gamas mais prejudiciais às obras de arte em exposição.

Após a instalação das cortinas em algumas salas verificou-se um aumento na sensação humana de calor, devido ao bloqueio parcial das correntes convectivas naturais através da ventilação cruzada. Para correção desse problema foram propostos sistemas de ventilação passiva e mecânica tirado-se partido das aberturas e do mobiliário expositivo.

A terceira proposta apresentada é a correção ambiental desenvolvida na implantação da Reserva Técnica, através de bloqueios e condicionamentos passivo e mecânico. Os maiores pontos de fugas e ganhos térmicos, constituído

pelos forros, portas e janelas, foram tratados para permitir o aproveitamento das condições ambientais externas quando estas forem favoráveis ou o seu bloqueio, com cerramento e proteção e a utilização de ventilação e/ ou desumidificação mecânicas quando o ar interno estiver com níveis de umidade ou temperatura desfavoráveis à conservação do acervo.

A quarta proposta teve como objetivo melhorar a qualidade ambiental da nave da Igreja de Santa Teresa. Tirando-se partido do próprio desenho e das características originais da edificação foi proposto o incremento da renovação do ar, através de um sistema passivo de ventilação por diferença de pressão, ou efeito chaminé, através dos oito óculos do domo do transepto da nave, e das janelas que circundam a torre mirante que o recobre.

A exceção da proposta da Reserva Técnica, que teve financiamento através do Programa de Adoção de Entidades Culturais da Caixa Econômica Federal, os demais sistemas de correção ambiental do MAS, aqui apresentados, foram financiados pela VITAE – Apoio a Cultura, Educação e Promoção Social.

2. Desenvolvimento metodológico das propostas

O desenvolvimento dos projetos serão apresentados separadamente considerando quatro blocos de ações e convém salientar que a finalidade precípua de todos foi a adequação ambiental, visando eficiência energética e redução do consumo de energia, sendo o princípio básico norteador de todas as propostas a intervenção mínima possível para adequação dos espaços aos usos propostos, salvaguardando-se a autenticidade e aparência do edifício e seus valores históricos e artísticos, assim como, a conservação preventiva das obras de arte nas condições do clima quente úmido, ao qual elas estão adaptadas. Todas as alterações propostas e executadas são totalmente reversíveis.

2.1. Correções das iluminações natural e artificial nas salas de exposição permanente.

As salas de exposição do Museu são iluminadas naturalmente através de janelas de parapeito com fechamento em folhas cegas de madeira, tipo escuro, sem qualquer outro tipo de proteção. Na "Sala de Vidro", além de quatro janelas desse

mesmo tipo, existe, ocupando toda parede sul, grandes esquadrias metálicas em vidro de piso a teto. Na “Sala da Prata”, a mais avançada a oeste, existem duas janelas comuns, e pequenas janelas altas com escuro e postigo, na parede voltada para o poente (Figura 2).

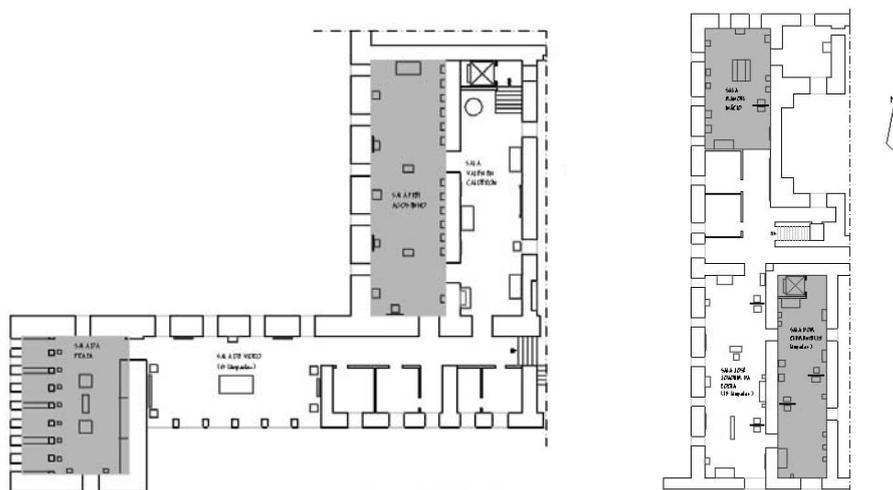


Figura 2 – Plantas baixas de algumas salas de exposição no 2º e 3º níveis.

Identificou-se, visualmente, que em muitas salas de exposição permanente a iluminação natural era excessiva, e que nas salas voltadas para oeste a radiação solar incidia de forma difusa e de reflexão ou diretamente em seu interior durante toda a tarde, inclusive sobre algumas peças, sendo necessário manter a maioria das janelas fechadas, nesse período. Foram identificadas em várias peças, degradação resultante da luz excessiva, apresentando esmaecimento dos pigmentos ou escurecimento do verniz, a exemplo das pinturas do arcaz da sacristia ou das talhas e pinturas expostas da sala de vidro.

As salas e as peças eram iluminadas artificialmente através de três sistemas: um de iluminação direta das peças, com lâmpadas halógenas e refletores dicróicos acopladas a trilhos suspensos ao redor das salas; outro com lâmpadas fluorescentes no interior das vitrines, e um geral de segurança, com lâmpadas incandescentes embutida no teto.

Foram elaborados gráficos da incidência de radiação solar nas salas de exposição, com o software *Luz do Sol*¹, considerando os equinócios e solstícios, e verificou-se no setor sul que a radiação penetra na sala no verão, enquanto no

setor leste, devido às árvores existentes, não ocorre incidência direta da radiação solar. Entretanto, no setor oeste, a radiação solar incide direta em todas as salas durante todas as tardes do ano (Figura 3).

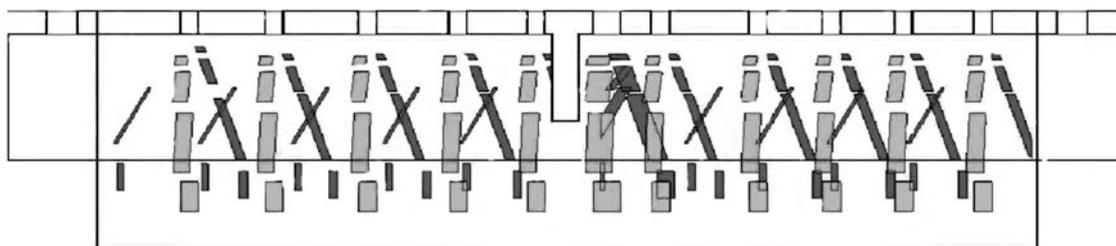


Figura 3 – Gráfico de insolejamento do interior das salas do setor oeste do MAS.

A equipe definiu, com base em sua experiência de levantamento de dados de iluminação natural, uma nova metodologia para levantamento quantitativo da carga lumínica recebida por peças em exposição, considerando todas as salas de exposição permanente, sendo selecionadas 80 peças a serem medidas, considerando suas localizações mais críticas por sala. Para medir a iluminância (lux) ao nível das obras expostas utilizou-se um luxímetro, marca ICEL LD 500, com a fotocélula paralela à superfície da peça, num ponto aproximado ao seu centro geométrico, no lado de maior incidência de iluminação.

Foram levantados dados horários das 9:00 às 17:00 horas, durante três dias consecutivos em quatro períodos, segundo as estações do ano. Para simular os valores anuais de lux considerou-se o período de funcionamento do Museu de 8 horas diárias, por 230 dias ao ano, estimando-se um tempo de exposição anual à luz num total de 1840 horas. Foi calculado para cada dia de medição a quantidade acumulada de luz medida (em horas lux), e obteve-se a média horária dos valores acumulados nos três dias por peça, segunda a estação do ano, e a média dos valores diários a que cada peça estaria submetida, correspondendo a um valor genérico diário, multiplicado pelo número de dias que o Museu funciona anualmente.

As medições foram procedidas segundo as rotinas de funcionamento do Museu registrando-se pela manhã apenas a iluminância natural e considerando a partir das 11:30 horas, três situações possíveis: apenas a iluminância natural; a

iluminância natural mais a iluminação artificial e somente a iluminância artificial, com as janelas fechadas.

ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO - período de 12 meses							
CARGA LUMINOSA DIÁRIA (8 HORAS) RECEBIDA PELAS PEÇAS (HORAS/LUX)							
N o peça	Nome da Peça	Média primavera	Média primavera	Média out.	Media inver.	Media verão.	Total hs/lux/ano
		NAT + ART	NATURAL	NAT + ART	NAT + ART	NAT + ART	NAT + ART
1	Anjo Tocheiro	1.258,67	824,00	999,67	1.424,33	1.638,33	305.957,50
2	Quadro esculpido	1.141,00	798,33	1.053,33	1.824,67	2.192,33	357.151,67
3a	Anjo Tocheiro	3.598,33	2.780,67	3.229,00	4.666,67	6.493,00	1.034.252,50
3b	Anjo Tocheiro	10.496,33	9.753,00	10.769,33	19.093,33	24.155,00	3.709.555,00
4	Sacerdote Melquisedeque	1.632,00	1.213,00	1.434,67	2.504,67	2.831,00	483.134,17
5	Colunas Renascentista	1.695,33	1.327,67	1.558,33	2.180,33	2.850,00	476.330,00
7	Pintura	1.583,67	1.079,67	1.296,33	1.860,00	2.379,00	409.342,50
9	N. Sr. Após a flagelação	1.447,00	1.022,67	1.203,67	2.112,67	2.525,00	419.079,17
10a	Anjo Tocheiro	5.416,00	3.597,00	3.917,33	7.343,67	10.366,33	1.554.991,67
10b	Anjo Tocheiro	13.404,67	11.004,00	11.844,67	21.874,33	30.895,00	4.486.073,33

Quadro 1 – Tabela parcial com dados de iluminação medidos e estimados sobre peças.

Considerando as 80 peças avaliadas, detectou-se superexposição anual à luz em 42 peças. Na sala José Joaquim da Rocha, 50% das peças estavam superexpostas à luz, e em 40% delas a contribuição da luz natural já superava o

valor máximo admitido anualmente para peças com sensibilidade moderada à luz, estimado em 200.000 horas lux/ ano (Thomson, 1986). Na sala Manuel Joaquim da Rocha, 70% das peças estão superexpostas à luz, e em 44% delas a contribuição da luz natural é superior ao valor máximo recomendado. Na sala do Barroco a leste, a superexposição atinge 13,5% das peças e a contribuição apenas da luz natural não alcança o valor máximo admitido.

Para correção da luz e das radiações foi implantado um sistema de proteção da iluminação natural, com cortinas tipo rolô, da Uniflex, em tecido semi-transparente (natté 4100), sobre tubo de 32 mm em alumínio de liga extrudado, e mecanismo de abertura com sistema “clutch”(embreagem), em plástico reforçado com fibra de vidro e molas de aço, com trilho inferior vazado em alumínio de liga 6063 T6C extrudado, com pintura eletrostática a pó, e tampas laterais em polietileno. Os suporte laterais, em aço galvanizado, foram aparafusado externamente na estrutura de madeira das janelas (Figuras 4, 5 e 6). Com isso criou-se um bloqueio para a radiação direta sobre as peças, mesmo com as janelas abertas quando as cortinas fechadas (Figura 7).



Figuras 4, 5 e 6 – Sistema de recolhimento das cortinas e seus aspectos exterior e interior.

Quanto a correção da iluminação artificial, foi substituído o antigo sistema de iluminação, nas sete salas de exposição permanente com vistas à diminuição da carga energética sobre as peças, e a racionalização do consumo de energia sendo retirados, os trilhos elétricos em forma retangular periféricos às salas, e instalados trilhos centrais (Figuras 8 e 9). Com isso, afastou-se as lâmpadas da maioria dos objetos de arte diminuindo, tanto a carga térmica da radiação infravermelha, como parte da radiação ultravioleta. Foi proposto um

redimensionamento da iluminação artificial com a substituição das lâmpadas dicróicas de 50W por lâmpadas dicróicas de 20W. Estas possuem emissão de luz mais fria, decorrente do seu refletor, que reduz em até 66% a radiação térmica, em relação a emissão de uma lâmpada comum, além de possuir filtro de radiação ultravioleta, através do bulbo de quartzo, que filtra em até 5 vezes a radiação UV, evitando-se com isso a oxidação e o esmaecimento das cores das peças sob a ação da luz (Cuttle,1996).

Para redução da carga luz/ horas nas peças foram instalados temporizadores para acionamento da iluminação artificial, através de sensores de presença, programados no tempo de espera de 2 minutos, após a saída do visitante da área de exposição. Analisadas as características dos sensores existentes no mercado, frente aos critérios estabelecidos no projeto, foram instalados sensores de presença infravermelha da Bticino Watt Stopper dos tipos, CX-100 e CI-200-1, atendendo as peculiaridades das salas.

Para atender as necessidades específicas das salas de exposição permanente do MAS Foram instalados 12 sensores de presença e 9 fontes. Em cada uma delas foram criados circuitos, de modo que não fosse perceptível ao usuário a presença dos sensores.



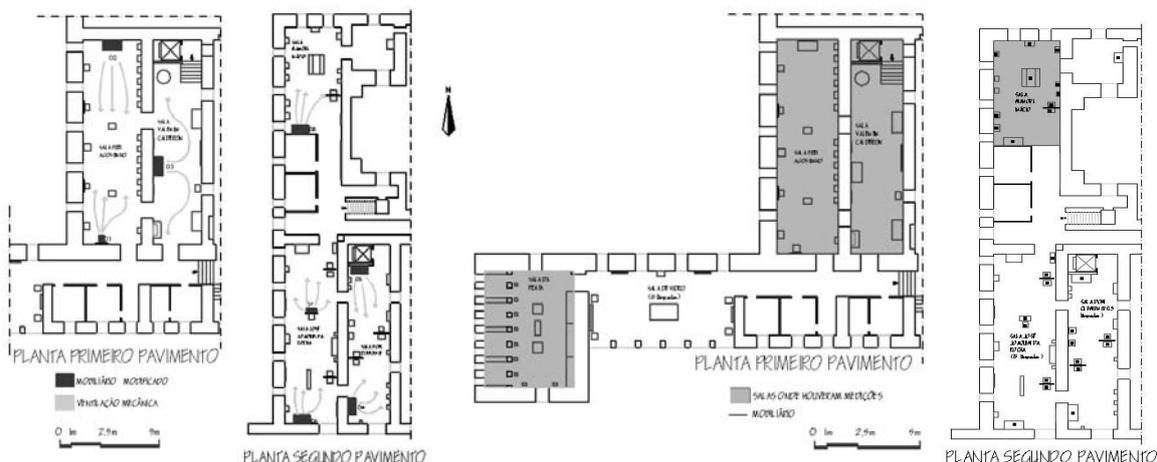
Figs. 7, 8 e 9 – Radiação direta sobre obras em exposição antes do sistema de proteção das janelas; antigo sistema de iluminação artificial e o novo sistema instalado.

2.2. Adequação ambiental com ventilação das salas de exposição

Após a instalação do sistema de controle da radiação direta e difusa, quando as cortinas estavam descidas, comprovou-se uma redução de cerca de 11°C na temperatura superficial no piso, entre a sombra projetada com a tela e a radiação direta, através da abertura sem proteção. Este indicador é suficiente para se afirmar a redução de carga térmica nas salas, e conseqüentemente a diminuição nos índices de temperaturas do ar e radiante em seu interior, trazendo benefícios para as obras de arte em exposição. Entretanto, foi observada uma alteração no conforto térmico humano, pelo incremento da sensação de calor nesses ambientes, relatado pelos técnicos responsáveis pelo setor de exposições do MAS e guarda-salas. Tal modificação se deu pela diminuição da ventilação cruzada, obtida com as janelas abertas, reduzida pela colocação das cortinas.

A ventilação ao nível do corpo humano, propicia trocas térmicas por convecção, como demonstrado, por Givoni (1981), entre outros, e também é capaz de reduzir a temperatura do ar, pelo aumento da evaporação por convecção, e a dispersão do acúmulo de calor, proporcionada pelo aumento das trocas ou renovações do ar no interior do cômodo. Processo que deveria ser intensificado no MAS, principalmente, durante o período da tarde quando é forte a incidência de radiação solar na parede externa das salas de exposição, localizadas a oeste quando as cortinas estão descidas ou as janelas fechadas.

Para corrigir as condições de conforto térmico nas salas de exposição permanente, foi proposta a instalação de sistemas de ventilação misto, passivo e mecânico, na base do mobiliário expositivo (Figuras 10 e 11). Como ponto de partida do trabalho, analisou-se as salas que apresentavam problemas mais críticos, em relação à sensação de desconforto humano, notadamente as dos setores oeste e sul do edifício, procedendo-se o levantamento de dados nas seguintes salas de exposição: da Prata, Manoel Inácio, Frei Agostinho e Valentín Calderón (Figuras 12 e 13).



Figs. 10, 11, 12 e 13 – Esquema de ventilação proposto para correção térmica das salas de exposição permanente e salas climaticamente analisadas.

Procedeu-se a coleta dos dados horários de velocidade do vento, temperatura do ar seco e úmido e umidade relativa, em pontos definidos nos cantos e meios das salas, inicialmente com as cortinas descidas em seguida com elas recolhidas, procedendo-se novo levantamento. Utilizou-se termo-anemômetros digitais, para a medição da temperatura do ar seco e a velocidade do vento; e psicrômetro de giro manual, para a medição da temperatura do ar úmido e seco, aplicando-se os dados no software PSICROM². Os equipamentos foram obtidos “informação a ser reposta após a avaliação”.

Após processamento dos dados em planilhas e gráficos, do software Excel, verificou-se que, embora a temperatura do ar nas duas situações permanecesse basicamente igual, quando as cortinas estavam descidas, a umidade relativa do ar sofreu ligeiro aumento de até 5%, enquanto a velocidade do vento frontal foi reduzida a zero. Ao nível periférico das cortinas havia ligeiras correntes de ventilação, entretanto, eram insuficientes para alterar os instrumentos, nos pontos definidos para a tomada de dados. Com as cortinas recolhidas foi constatada a ventilação natural na sala proveniente das janelas, embora não se tratasse de quadrante de ventilação predominante.

A ventilação de baixa velocidade é resultante de diferença de pressão e de brisas originárias na Baía de Todos os Santos, e já havia sido verificada no Diagnóstico

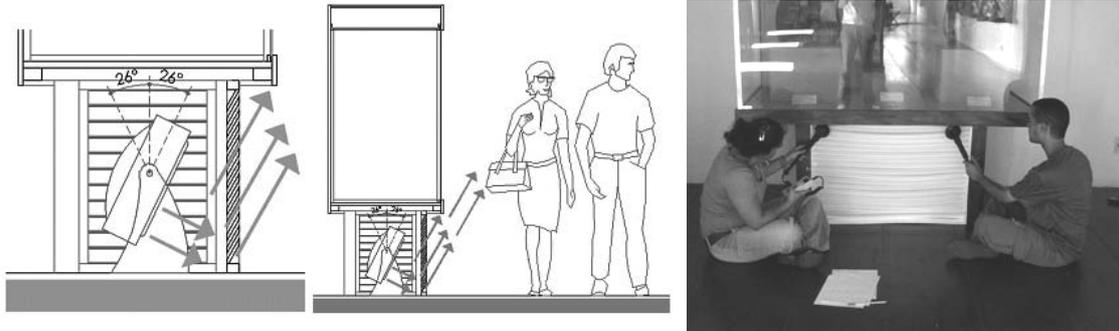
de Conservação 1998 (“informação a ser reposta após a avaliação”), e comprovada nos dados coletados pela Estação Meteorológica, acoplada ao Sistema Climus instalado na área do jardim do MAS.

Qualquer proposta de ventilação das salas deveria intervir minimamente na leitura museográfica e no espaço expositivo. Para tanto, decidiu-se além de criar uma metodologia específica para a análise dos dados, utilizar os próprios móveis expositores fechando-se suas bases com venezianas e introduzindo no seu interior um circulador de ar e, com isso, promover a correção termica das salas de exposição, criando-se uma ventilação com pouca pressão ao nível dos usuários (Figuras 14 e 15). Para a definição dessas modificações no mobiliário foram produzidos diversos protótipos de venezianas de isopor, sendo testadas nove distintas situações alterando-se a largura das lâminas, assim como, a proximidade entre elas. Para os teste utilizou-se dois tipos de expositores e dois ventiladores, ambos com velocidade e direção do fluxo de ar fixos, sendo as medições procedidas em três posições: em cima, no centro e na base do painel de isopor, na parte frontal. Os melhores resultados foram observado nas lâminas de 7 cm com espaçamento de 1,5 cm (Figura 16). Em seguida foram procedidas simulações e medições para determinar a melhor angulação das lâminas, indicando-se o ângulo 60°, relação ao plano horizontal, por proporcionar melhor dispersão do ar na sala e maior fluxo ascendente de ar, à altura do corpo humano.

Executou-se um protótipo de madeira, com laminas de 7 cm de largura por 1,2 cm de espessura com espaçamento entre elas de 1,5 cm, e angulação ascendente de 60°. Após instalação do protótipo verificou-se a necessidade de criar maior bloquear visual do equipamento no interior do móvel, aumentando-se as venezianas para 8 cm de largura, sendo esse o padrão adotado para todos os móveis, independente de sua dimensão.

Foram testados, no protótipo de madeira, 4 diferentes tipos de circuladores de ar e 1 ventilador. Depois de analisados os dados obtidos, selecionou-se o circulador de ar C 400 da Britânia, com 3 velocidades e inclinação do bojo ajustável e o ventilador tipo torre, STF 2000 – Wind Tower Color, oscilante com 3 velocidades, este para os expositores de pedestal de metal, devido a sua compatibilidade em

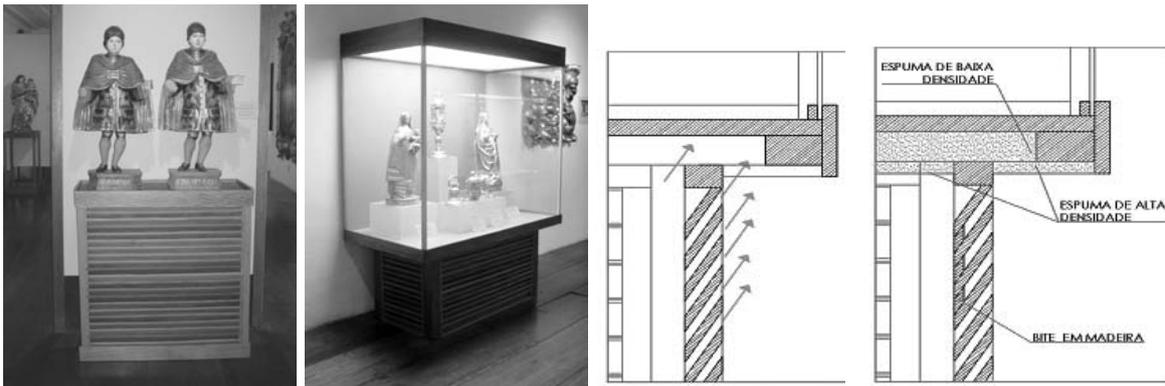
dimensões. Após medições definiu-se a inclinação do bojo de ventilação em 26° para baixo em relação ao plano vertical. Esta inclinação permite que o vento seja refletido pela superfície do piso, resultando uma melhor distribuição da ventilação ao longo de todo o painel (Figuras 17 e 18).



Figuras 14, 15 e 16 – Angulação do ventilador e esquema de ventilação no mobiliário para conforto térmico humano e levantamento de dados de ventilação com protótipo de isopor.

Foram confeccionados painéis de veneziana de madeira ipê champanhe, semelhante ao mobiliário existente, sendo os mesmos fixados por encaixe nos expositores com um dos lados preso ao móvel por pressão, com 4 roletes de aço inoxidável, para facilitar o acesso aos ventiaidores pelo pessoal de manutenção do MAS. A parte posterior voltada para a parede permaneceu totalmente aberta para permitir a entrada livre do ar do ambiente e propiciar renovação e eficiência na ventilação mecânica resultante (figuras 17 e 18).

Para evitar vibração na base dos expositores, que pudessem afetar as peças expostas, pela incidência da pressão da ventilação mecânica, foi colada no fundo inferior externo de cada expositor uma manta de espuma látex, de baixa densidade, com 3 cm de espessura, sobrepondo-se a esta outra manta de 1 cm de espessura, com alta densidade, cobrindo desde a frente até o fundo a base dos móveis (figuras 19 e 20).



Figuras 17, 18, 19 e 20 – Aspecto geral de dois expositores após instalação do sistema de ventilação e esquemas de ventilação sem proteção e com proteção contra vibração.

Instalou-se oito sistemas de ventilação independentes nas salas de exposição permanente do MAS. Considerando as oscilações da corrente elétrica e para garantir o funcionamento dos ventiladores, foram colocados, junto a cada tomada, um estabilizador de voltagem, onde também está ligado o sistema de iluminação do respectivo expositor.

2.3. Tratamento ambiental da reserva técnica

No antigo Salão Nobre, no último pavimento do edifício do convento, foi instalada a Reserva Técnica. Essa localização acarretava problemas de natureza micro climática, como a transmissão rápida dos ganhos térmicos do telhado para o interior da sala, incremento do vapor d'água e da umidade relativa, provenientes das telhas de cerâmica, quando encharcadas pelas chuvas. O telhado também sempre representa um risco potencial de danos pela penetração direta de águas pluviais e, pela sua vulnerabilidade a incêndios, por curto circuito nas instalações e fiações de energia elétrica, ou ocorrência de raios, quando não existe um elemento de proteção ativo em suas proximidades.

Para reduzir a carga térmica transmitida pelo telhado para a sala da Reserva Técnica, através do forro de madeira em gamela, com algumas partes muito próximas às telhas, foi aplicada em toda sua extensão, uma manta de lã de rocha com 5 cm de espessura, densidade de 32kg/m^3 , e condutividade térmica de $0,032\text{ kcal/ h}^\circ\text{C}$. A lã de rocha, além de servir como barreira térmica em relação aos ganhos de temperatura do telhado é uma medida preventiva contra incêndios,

pois a manta, por não ser inflamável, reduziria a propagação do fogo sobre o forro da RT, retardando sua ação no interior da sala.

No sentido de aumentar o isolamento térmico, prevenir problemas de infiltração, e do incremento da umidade relativa no interior da Reserva Técnica, foi colocada, sobre a lã de rocha, uma manta de Tyvek, 100% de polietileno, de alta densidade, recoberto com alumínio e verniz acrílico em uma das faces. A superfície aluminizada foi voltada para o telhado, para aumentar a emissividade e reduzir a absorção e transmissão térmica para o interior da sala. Criou-se, com isso, uma superfície impermeável minimizando a possível penetração de água por avarias do telhado, sendo instaladas calhas de PVC contínuas, em toda periferia do forro. A manta de Tyvek foi fixada no madeiramento e inteiramente vedada nas juntas com fita apropriada, formando uma lona contínua passando por dentro da calha. Caso ocorra infiltração, a água escorrerá para a calha, e daí se evapora pela ação da temperatura do ar elevada no interior do telhado. O Tyvek é um material que não provoca labaredas inibindo também, a propagação do fogo.

Além da cobertura, as janelas se constituem em pontes térmicas com considerável aporte de carga térmica, por condução e convecção, para o interior da RT, principalmente as voltadas para leste e oeste que, alternadamente pela manhã e à tarde, contribuem para elevar a temperatura do ar no interior da sala. O desenho das esquadrias, com caixilhos de madeira e vidros propiciam o efeito estufa no espaço entre o vidro e o escuro aumentando as temperaturas do ar e radiante na sala (Figura 21).

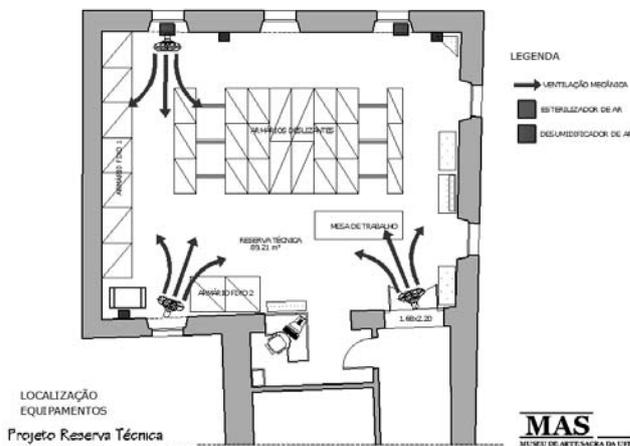
Inicialmente, foi efetuado o levantamento das temperaturas na superfície interna das janelas e radiante no interior da sala, procedendo-se o estudo individualizado de cada janela, pela suas localizações e orientações diferenciadas. Determinou-se pontos no centro de cada uma das folhas das janelas, sendo medidas a temperatura superficial horária, nesses pontos durante três dias, das 9:00 às 17:00 horas. Verificou-se uma carga térmica excessiva proveniente das janelas oeste e leste, chegando a primeira a valores em torno 49 °C, durante à tarde, significando 19 °C mais elevado que a temperatura radiante no interior da sala, enquanto na janela leste estava em torno de 44 °C, no início das medições pela

manhã. A janela norte apresentou temperatura superficial estabilizada, com diferença de no máximo 2°C, em relação à temperatura radiante da sala.

Diante da impossibilidade de redefinição do desenho das janelas para não alterar o aspecto geral do edifício, foram testados diferentes tipos de películas de materiais opacos aplicados sobre a superfície externa do vidro sendo avaliada a redução da carga térmica e do efeito estufa resultantes desse tipo de esquadria. Os testes foram feitos medindo-se a temperatura superficial no escuro de madeira sem o vidro, com o vidro e com os demais vidros revestidos. As películas utilizadas foram vinil branco, prateado e cinza, e Tyvek com superfície aluminizada (Figura 22). A definição das películas considerou a não interferência no aspecto externo do edifício. Não foram testadas películas e insulfilmes normalmente utilizadas, porque estas também interferem na coloração interna dos ambientes, o que poderia ser prejudicial à conservação preventiva do acervo.

Depois de analisada climaticamente toda sala, foi proposta a instalação de ventiladores, no alto das paredes opostas, leste e oeste, para se criar correntes de ventilação forçada através das janelas e propiciar a renovação do ar internamente. Para corrigir os pontos de maior umidade relativa dentro da sala foram instalados dois desumidificadores, sob as duas janelas laterais da fachada oeste, sendo fixado o valor de 70% de umidade relativa para acionamento dos equipamentos (Figura 23). Esse valor foi definido com base nos dados observados no próprio MAS e considerados adequado, dentro dos padrões de conforto, e para a conservação preventiva das obras adaptadas ao clima quente e úmido.

Como medida preventiva contra proliferação de microrganismos, foram instalados purificadores de ar para reduzir a sua contaminação dentro da Reserva. Considerando a cubagem da sala de 240m³ foram instalados 3 purificadores de ar com capacidade de purificação de 120m³ cada, sendo dois fixados na fachada oeste, por ser a que recebe maior influência externa e um na esquina das paredes leste e sul (Figura 23).



Figuras 21, 22 e 23 – Tipo de janelas da RT, teste com películas sobre os vidros e esquema de localização e instalação dos equipamentos mecânicos na sala da RT.

O sistema instalado funciona alternadamente com as condições ambientais do lugar, e assegura a conservação preventiva do acervo, a redução dos custos na sua manutenção, assim como, o racionamento do uso da energia elétrica. Para garantir essas condições foram estabelecidas rotinas e critérios para aproveitamento das condições climáticas externas, segundo horários do dia e as estações do ano, determinado-se os momentos e as necessidades para acionamento dos equipamentos mecânicos complementares.

2.4. Ventilação forçada na igreja de Santa Teresa

Nos momentos em que eram realizados eventos sócio-culturais no interior da nave da Igreja era notória, a sensação de calor e o incremento da umidade relativa, resultante da evapotranspiração das pessoas, tornando o ambiente altamente desconfortável e insalubre, principalmente no verão, porque o ar quente

ficava retido no interior da nave e na cúpula, sendo necessário a utilização de ventiladores o que, muitas vezes, prejudicava acusticamente a sala, notadamente nos concertos musicais e ou casamentos (Figura 24).

No sentido de mitigar esse problema, analisando a edificação, foi verificada a possibilidade de intervenção nos óculos da cúpula de coroamento do transepto da nave da Igreja. Estes óculos que, provavelmente, eram abertos, foram fechados com esquadrias de madeira e vidro, impedindo, assim, um fluxo contínuo de ventilação natural no interior da igreja. Esse sistema certamente funcionava com a entrada da ventilação pelas aberturas das portas frontais da nave e através também das aberturas superiores existentes nas paredes laterais, algumas das quais foram fechadas em intervenções posteriores, e a saída do ar quente se dava através dos oito óculos e pelas janelas de treliça correspondentes a cada um deles existente na torre sobre a cúpula (Figura 25).

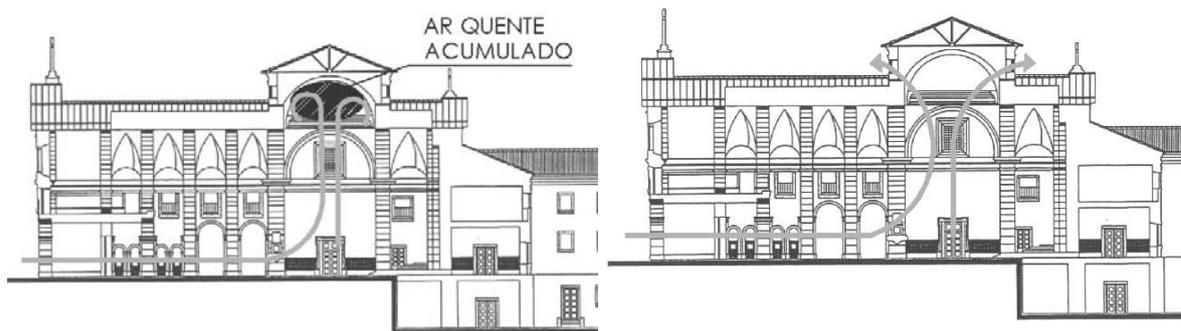
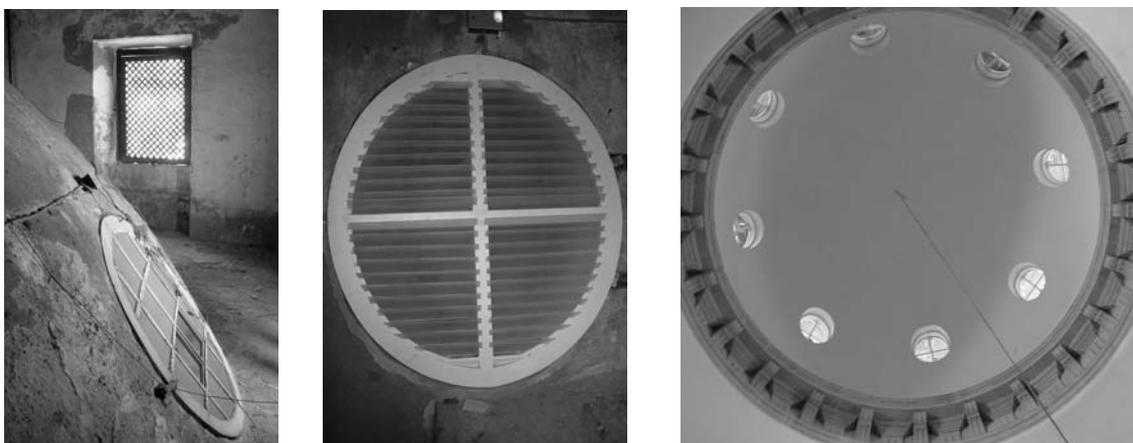


Figura 24 e 25 – Esquema ventilação existente e esquema do sistema proposto para ventilação da nave da Igreja de Santa Teresa.

No início dos trabalhos foi procedido um levantamento de dados de ventilação nos óculos da cúpula (Figura 26). Para isso, retirou-se alguns vidros e aproveitou-se vazios existentes, sendo feitas medições simultâneas com dois termôanemômetros digitais, em aberturas opostas. Verificou-se que o ar quente era expulso da nave da Igreja e chegava até a cúpula com grande velocidade. A partir dessa constatação foram formulados alguns protótipos em isopor com venezianas de 45° e 60° de inclinação, e laminas de diferentes larguras, sendo estes testados em distintas posições e situações, inclusive vedando-se as janelas de treliças da torre, para evitar a entrada de ar exterior, que induziam leituras errôneas. O

modelo que apresentou maior eficiência na maioria absoluta dos gráficos foi o das lâminas a 45°, sendo esta inclinação definida para a execução das venezianas.

Foram desenhados seis modelos de esquadrias justificadas por razões técnicas e por se pretende interferir de forma mais neutra possível na leitura do conjunto. Tratando-se de edificação tombada a nível federal, as propostas foram encaminhadas para análise do IPHAN e após discutidas, sob o ponto de vista técnico e estético, foi selecionada a que apresentava maior superfície com venezianas em lâminas de vidro (Figuras 27 e 28).



Figuras 26, 27 e 28 – Aspecto interno da cúpula com a janela de treliça e os óculos antigos e aspecto dos novos óculos no exterior e vista geral interna da cúpula com óculos instalados.

Após a confecção e testes em um protótipo foram proposta alterações para viabilizar tanto a entrada das lâminas como sua execução final, sendo então confeccionados os oito óculos com estrutura de madeira pintada com esmalte látex branco, onde foram introduzidas as lâminas de vidro jateado de 10 mm de espessura, com inclinação a 45°.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de ventilação mecânica instalado nas salas, já demonstram uma melhoria sensível nos níveis da percepção humana tanto nas salas de exposição, pela sensação de conforto perceptível ao nível do corpo humano, comparando-se as condições das salas com os sistemas acionados ou desligados, assim como, o de ventilação natural na nave da Igreja de Santa Teresa, sendo perceptível o

incremento do fluxo de ascensão da ventilação por diferença de pressão, notadamente, quando a sala esta repleta.

As propostas visaram garantir melhores condições de conforto aos visitantes e usuários do Museu de Arte Sacra, assim como, a conservação preventiva, sob o ponto de vista ambiental, das obras expostas e em reserva, sem alterações drásticas em seu clima natural de origem, e econômico, tanto na sua execução, quanto sob o ponto de vista da sua manutenção energética.

Serão necessários novos levantamentos de dados e medições que permitirão testar a eficiência dos sistemas propostos, visto tratar-se de trabalhos empíricos, apesar de toda fundamentação e testes que foram procedidos, para que os mesmos possa ser difundido e adotado como solução de condicionamento climático misto (passivo e mecânico), com baixo custo energético, a ser utilizada em museus em situações com clima local clima quente úmido, semelhantes ao de Salvador.

4. Referências bibliográficas e de sites

CUTTLE, Chisthopher, Damange to Museum Objects due to Light Exposure. In **International Journal of Lighting Research and Tecnology** nº 28 1, 1996 p.1-9.

GIVONI, Baruch. "Man, climate and architecture". 2. ed. London: Applied Science Publishers, 1981.

"Informação a ser reposta após a avaliação" "Diagnóstico de Conservação: Museu de Arte Sacra" – Salvador, 1998.

THOMSON, Garry. The Museum Environment. Oxford, Butterworth – Heinemann, 1986.

<http://www.labeee.ufsc.br/software/luzDoSol.html>

<http://www.ecivilnet.com/software/psicrom>

Notas

¹ Software desenvolvido por Maurício Roriz - Universidade Federal de São Carlos, Prêmio de Melhor Software Tecnológico no concurso MEC, com apoio IBM e FENASOFT - Brasília (DF) - Dezembro de 1994.

² Software desenvolvido por Maurício Roriz - Universidade Federal de São Carlos, para o estudo das relações entre as propriedades do ar úmido, utilizando cartas Psicrométricas.