

Este texto é um capítulo do livro 'Conservation of Ruins' de John Ashurst, 2008, ed. Butterworth-Heinemann.

Ruínas submersas

Autor: Jason Bolton

Sua formação é na ciência da conservação de arquitetura, manejo de patrimônio em risco, mergulho profissional e arqueologia. Recentemente completou sua pesquisa de doutorado sobre deterioração de monumentos costeiros em pedra, e é autor de inúmeros livros, estudos técnicos, artigos e monografias desde que começou sua prática como Consultor de Conservação de Arquitetura em 1997. Sua área de interesse em pesquisa inclui intemperismo, deterioração, limpeza, reparos e conservação de pedra, tijolo e estruturas com argamassa, a interação de ambientes costeiros e interiores, edifícios e materiais históricos, tecnologia de argamassas medievais, pedreiras e fontes de materiais de construção, e a tecnologia e o design de monumentos irlandeses em pedra.

Tradução livre Márcia Braga – arquiteta restauradora

Introdução

Nel tempo, e con l'acqua, tutto muta. Leonardo da Vinci

Um dos resultados do uso histórico de costas e rios dará a exploração de reservas naturais, comércio e comunicações foi o desenvolvimento de cidades, vilas, edifícios isolados, monumentos, estruturas e complexos ao longo das faixas litorâneas do mundo. Esse padrão histórico de assentamento de regiões costeiras é visto internacionalmente e refletido na distribuição populacional - 50% da população do mundo industrial vive dentro de 1 km da costa. O legado de monumentos arqueológicos e edifícios históricos nas proximidades das costas compõem-se desde tumbas antigas e complexos rituais até bem sucedidas cidades medievais, fortificações e assentamentos eclesiásticos, através da crescente diversidade pós-medieval e do patrimônio cultural do século XX. A costa não é um limite imutável ou constante, e mudanças moldam uma grande variedade durante o passar dos tempos. As marés

sobem e descem diariamente, tempestades podem causar alterações súbitas e dramáticas, e durante maiores períodos de tempo de erosão e deposição ocorrem mudanças no perfil da costa e de seu posicionamento. Isto levou a um fenômeno de portos históricos ficarem dentro de territórios, e outros edifícios e estruturas gradualmente afundarem dentro das ondas. O encontro do mar com a terra e as inundações e a submersão de edifícios históricos cria uma área de novos desafios para a conservação.

Considera-se que a conservação de ruínas submersas, ou em processo de submersão, é um objetivo complexo. O mar é um ambiente agressivo e poderoso, rico em sais e composto de uma infinidade de organismos biológicos complexos em busca de um local para se fixar. E o mar é mutante, movendo-se para dentro da terra e para fora dela, indeterminado, que enterra, corrói e desgasta. Não há uma forma pré-estabelecida do que é a melhor prática, nem especializações genéricas tecnológicas para projeto e pouco trabalho prévio para comparação. Por outro lado, há uma série de medidas que devem ser consideradas complementando aquelas tradicionais de conservação de arquitetura, e uma gama de aproximações, documentação, monitoramento e técnicas de reparos que precisam ser padronizadas, definidas e adaptadas para direcionar a necessidades de sítios específicos.

Avaliação do ambiente marinho

Natureza da costa

Um dos primeiros desafios é entender os processos de mudança da costa e o que entendemos propriamente como 'costa'. A costa é normalmente definida pelo local onde a terra encontra o mar. No entanto, a identificação onde termina o mar e começa a terra é uma matéria para algum debate. O debate cresce de forma complexa em sistemas costeiros como em planícies costeiras, áreas alagadiças, manguezais e estuários salinos, onde a extensão da maré baixa e da maré alta não é clara. O mapeamento tradicional usa o limite da vegetação de recobrimento como a costa, já que indica o local de alcance da maré alta. Historicamente, o significado da marca da maré alta tem sido uma fronteira conveniente para a marca da costa. No entanto, a marca da maré alta não é um ponto imóvel. A linha flutua com ciclos diários e anuais, e dentro de maiores períodos esse limite sofre com processos de erosão e acréscimos, com mudanças de níveis de terra e mar. Embora a terminologia popular do termo linha costeira é usada frequentemente, na prática a costa aumenta tanto em profundidade quando em comprimento, e nos anos mais recentes tem sido mais comum e internacionalmente referida como 'zona costeira'.

Não há uma definição precisa e aceita universalmente para os limites da zona costeira. Os diversos governos, instituições e outros elementos envolvidos na pesquisa e gerenciamento das costas mundiais operam com uma grande variedade de escalas, usando diferentes fronteiras para diferentes objetivos. De forma crescente, definições de zona costeira distanciam-se de definições espaciais, para uma aceção de linha com definição de 'Carta' de costa como 'o espaço nos quais ambientes terrestres influenciados pelo mar (ou lacustres) e vice versa'. Muitas definições de zonas costeiras não contêm limites físicos e deixam intencionalmente parâmetros abertos. Onde a terra é relativamente plana, a área costeira pode estender-se em terras distantes, e onde o mar encontra uma encosta rochosa ou outra superfície abrupta, a zona costeira é uma faixa estreita. Com essa ampla definição, é possível estabelecer a zona costeira num número de unidades genéricas, cujos parâmetros podem variar de sítio para sítio, e em cada um coloca-se desafios particulares para os monumentos:

- O sub-litoral ou área sub-maré – estendendo-se da entendida maré baixa de primavera marcada pela água do mar
- O litoral ou área de inter-maré – estendendo-se da marca da baixa maré até a marca da maré alta de primavera
- O supra-litoral (zona *spray*) e costa de terra adjunta – estendendo-se entre a marca da alta maré de primavera com a marca da água

Um monumento em ruína pode estar inteiramente, parcial ou ocasionalmente submerso, dependendo da sua localização nessas zonas. Essas zonas podem se mover seja para dentro da terra, seja para dentro do mar dependendo de fatores naturais ou antropomórficos, e conseqüentemente uma estrutura em ruínas pode 'passar' de uma zona a outra durante processos de submersão e imersão. A característica chave para essas zonas é a quantidade de água do mar acessível que pode afetar a superfície construída. Costas são definidas por um número de diferentes maneiras para diferentes propósitos, mas numa forma simplista são: avançada (linha do mar adiantando-se), estável (sem mudanças significativas) ou em erosão, onde a costa está se retraindo.

Costa em erosão – causas e processos

A erosão da costa pode ser definida como o movimento da faixa de terra da linha costeira resultado da perda de rochas sedimentares ou substrato de rochas entre a inter-maré e a zonas avançadas de maré. O processo pode ser deletério para os

monumentos em diversas maneiras – normalmente reduzindo as fundações da edificação, permitindo um impacto direto das ondas, vapor e o ambiente marinho nas superfícies construídas como um prelúdio para inundações. A erosão da costa é o resultado de diferentes fatores, incluído mudanças no nível do mar, a intensidade das ondas, amplitude da maré, a frequência de tempestades, padrões e alterações de distribuição de sedimentos, tais como alterações resultantes de trabalhos de acréscimos, e extração de minerais e agregados. Os processos de erosão das costas tendem a crescer com a combinação dos fatores causais, e de da importância relativa desses fatores de mudança de acordo com as variações locais.

A progressão e severidade da erosão da costa são também controladas pela natureza da linha costeira – mais comumente dividida em ‘macia’ (dunas de areia, glaciares) e ‘dura’ (encostas rochosas, barreiras feitas pelo homem, etc.). O tipo de linha costeira é uma chave para a estimativa de suscetibilidade da erosão da costa e conseqüente risco para o monumento. No entanto, numa escala pequena aplicável para a consideração dos níveis de corrente e possível futura deterioração da costa do monumento, grandes escalas de monitoramento podem desprezar a quantidade de deterioração em pequena escala e precisam ser avaliadas criticamente como um risco potencial para o monumento. Publicações de grandes escalas de monitoramento de erosão de costas tendem a seccionar a linha da costa em células, categorizando-as em termos de tipo e uso de linhas de costa, fatores de risco e numa progressão padrão de perda. Numa escala pequena aplicável a linhas costeiras de monumentos, grandes variações são aparentes. Fatores locais, como a durabilidade dos monumentos propriamente, influenciam a erosão. A construção de proteções duras têm frequentemente acelerado o ritmo de erosão nos limites dessas áreas, e esse mesmo fenômeno tem sido observado nos mesmos sítios costeiros onde uma alvenaria com pedra durável foca nos efeitos da erosão dos limites ou de outros pontos vulneráveis.

Todas as bordas costeiras são sujeitas a mudanças, e mesmo uma aparente robusta empena rochosa passa por menores processos de erosão tais como sub-aéreo, recessão de escarpa, intemperismo ao longo das juntas de minerais, abrasão e corrosão (particularmente em brechas praianas adjacentes), nódulos e interrupções de junções em plataformas/escarpas, e exploração de leitos de áreas sedimentares de fraca estrutura que conduzem à retração da face da escarpa. Escarpas menos inclinadas e compostas de rochas macias podem experimentar atritos graduais conduzindo a retrações de escala de 0,5- 1,0 metro por ano, tanto quanto repentinas e dramáticas perdas associadas a tempestades. Linhas costeiras históricas que mudam em costas compostas de sedimentos macios mostram que o padrão não é de uma simples e contínua retração, mas de uma alternância de períodos de erosão, colapso, reconstrução sedimentar e então erosão novamente. Linhas costeiras arenosas estão

em contínuo fluxo, que podem ser extremamente predatórios para as edificações localizadas próximo à zona de inter-maré.

Mudanças do nível do mar e impactos potenciais da mudança climática atual mudam modelos para o patrimônio costeiro

Os edifícios costeiros são também afetados pelo nível do mar. O nível no qual o mar é relativo ao da terra em torno da linha costeira mundial é determinado por um número de fatores. Globalmente significa que o nível do mar está intimamente determinado (Beninson e Toy) por:

- a quantidade de água no oceano
- a temperatura da água
- o volume de água guardado na Antártica e nas geleiras da Groenlândia
- o volume de água guardado nos glaciares não polares
- o volume de água guardado em captações artificiais e naturais, lagos e reservatórios.

Globalmente significa que o nível do mar é afetado pelo equilíbrio da evaporação e precipitação produzidas pelo ciclo hídrico, os efeitos da gravidade nos sistemas da terra-lua-sol, ventos, pressões atmosféricas flutuantes, e também a extensão e configuração das depressões da crosta marina que contém os oceanos. O nível do mar não é constante, e flutua sobre padrões de tempos e escalas, de oscilações diurnas com marés flutuando até períodos geológicos de movimentos tectônicos e eustáticos (ou uma combinação de ambos). As flutuações das marés também variam em direção, duração, peso e velocidade devido a fatores locais tais como a morfologia da linha costeira, pressão e condições atmosféricas. Sem considerar as flutuações naturais descritas acima, o nível do mar tem sido historicamente considerado como um parâmetro constante, e ainda é usado como tal.

Há um consenso mundial sobre os possíveis impactos em modelos previstos sobre as mudanças climáticas e um nível do mar resultante do aumento de concentrações de reservatórios de gases verdes e outros processos (comumente chamados de aquecimento global). Crescentemente, os cenários das mudanças climáticas têm sido utilizados para postular impactos oriundos de um possível aumento do nível do mar global, e as possibilidades de incidências de tempestades e inundações, levando a potenciais impactos em ecossistemas e infraestrutura humana das costas. Os estudos atuais das mudanças climáticas tendem a concentrar afirmações que o nível de elevação do nível do mar, estimado entre 14 - 80cm, com uma variação de média de

0,5m, e aumento de níveis em frequência e severidade de tempestades. No entanto, é um resultado de amplitude de marés, especialmente o aumento das marés altas, que são as de mais relevância para os monumentos costeiros. A extensão máxima das marés deve ser considerada e entendida como possíveis impactos de níveis crescentes de tempestades previstas para o século XXI. Tempestades surgem causadas por ventos e mudanças de pressões atmosféricas podem resultar num aumento temporário do nível do mar até muitos metros numa costa, e uma produção de ondas de significativa energia de alta força que podem resultar em dramáticas perdas para terra e edificações. Os cenários tomam uma abrangência ampla, continental e global; no entanto, impactos locais do aquecimento global são difíceis de prever com certeza e acuidade, e ambos locais e regionais podem diferir substancialmente dos valores globais. O impacto da mudança climática nas costas não é uniforme, e é influenciado com fatores como o tipo da linha costeira, topografia e variáveis locais. No entanto, certos tipos costeiros como deltas de marés, altas e baixas planícies costeiras, praias, ilhas (incluindo ilhas barreiras), costas molhadas e estuários podem sofrer riscos devido a sua característica física.

Numa pequena escala de monitoramento, relevâncias devem ser consideradas para o monumento em ruínas. Considerações quanto ao tipo de linha da costa e consequente a suscetibilidade de alteração podem ser um indicador de risco de muito maior importância do que o aumento da maré por si só. Muitos sítios, tais com portos e fortificações costeiras, foram concebidos para serem parcialmente submersos. São fatores associados ao aumento do nível do mar que têm potencial para causar prejuízos aos monumentos em ruínas – aumento de ondas e atividades tempestuosas, aumento da erosão da costa, e mudanças dos parâmetros climáticos de intemperismo. E esses fatores associados podem ser controlados por processos de transporte de sedimentos regionais de costa e intra marinhos, associados à exposição de ondas de grande energia.

Técnicas de documentação e monitoramento

O objetivo da aproximação

O objetivo inicial é de determinar o nível (ou os níveis) de documentação que são necessários para a compreensão da condição da estrutura de ruína e o nível de intervenção necessária para sua conservação. Há quatro amplas escalas de avaliação:

- 1 *Determinação da linha costeira.* O estudo geomorfológico de identificação do tipo de linha costeira, abrangência da maré, nível de exposição da costa para ondas e tempestades, padrões de transporte de sedimentos, e o conhecimento da história e da erosão da costa atual e da mudança da maré.
- 2 *Determinação da linha costeira ou da base do mar imediatamente associada à ruína.* Tipo, natureza e durabilidade do substrato, erosão da costa e ambiente de depósito.
- 3 *Determinação da construção.* Documentação da extensão da edificação, especificação em desenhos, de materiais, condições, abrangência, tipo e nível de colonização por organismos marinhos, e identificação de áreas vulneráveis.
- 4 *Determinação detalhada de áreas vulneráveis.* Por exemplo, detalhes de locais submersos, movimentação de muros e outras estruturas, áreas de deterioração severa de pedras, etc.

O conhecimento inicial da costa deve compreender uma revisão da literatura relevante, cartografia, fotografias aéreas, e ambiente prévio da costa e estudos de erosão (se existentes). No entanto, a maioria da literatura existente é composta de estudos em grande escala para propósitos de gerenciamento e, ainda que provenham com uma boa análise dos processos costeiros de uma área, são geralmente não aplicáveis a escalas menores para a necessidade de documentação do monumento em ruínas. Para a maioria dos casos, informações úteis não existem e devem ser conseguidas com pesquisa in loco, documentação, análise e avaliação.

A determinação de uma pequena célula de seção da costa é vital para a compreensão dos processos que a levaram à ruína, e será um grande suporte no sucesso das práticas de conservação. A durabilidade dos substratos e sua resistência à erosão e a deterioração submersa é sempre a principal determinante para a longevidade da construção submersa.

O objetivo torna-se muito mais desafiador do que avaliações de determinações requeridas em sítios terrestres. Embora a ruína possa requerer a mesma quantidade de trabalho investigativo, obter as informações necessárias pode ser uma proposta complexa e bizarra. Trabalhar em sítios submersos ou parcialmente submersos como ruínas requer além de planejamento e adaptação a condições do local. Nas áreas de inter-maré, a ruína pode ser acessível somente por algumas horas por dia. Para alguns sítios somente são expostas em marés de primavera e isso pode ser somente possível em algumas horas do ano.

Estudo prático no sítio

O estudo prático do sítio compreende três áreas principais: o estudo geomorfológico da célula costeira, o monitoramento da inter-maré da ruína e o levantamento da ruína submersa.

O conhecimento geomorfológico deve acertar sobre a natureza, o tipo das condições presentes e vulnerabilidades da seção definida da linha costeira, e deveria idealmente ser feito duas vezes – uma vez durante a primavera e outra no outono para comparação. Diferentes tipos de linhas costeiras requerem diferentes tipos de avaliação, tantas quantas são diferentes as formas de deterioração específicas. For exemplo, a evidência da rebentação das ondas nas escarpas nas bases ou em dunas embrionárias pode sugerir um dano causado por uma tempestade recente, tanto quanto um desgaste contínuo de erosão. Escarpas glaciais requerem questões diferenciadas para serem postas, como diferentes formas de degelo, cobertura vegetal, ou o posicionamento e natureza da base da escarpa poderia indicar uma ou a combinação de drenagens, tempestade ou problemas contínuos de erosão.

O levantamento da inter-maré com técnicas padronizadas para terrenos necessita de alguns ajustes para locais em condições molhadas e tempo disponível limitado entre as marés. O meio do verão é a melhor época para o levantamento porque ambos os períodos de baixa maré podem ser trabalhados; no entanto, trabalhos contínuos na inter-maré não são possíveis. O inverno oferece condições de trabalho ruins com poucas horas de sol, frio e umidade, mas pode fornecer informações valiosas porque o monumento pode ser estudado antes, durante e depois de tempestades. As principais restrições são com relação a barreiras externas dentro do mar. Camadas profundas e grossas de lama pegajosa podem impedir o movimento, e o acesso para vistoria pode não ser possível, o equipamento trazido e montado diariamente para o sítio e condições especiais de segurança devem ser observadas. O planejamento detalhado pode maximizar o tempo disponível no sítio, no entanto, o levantamento da inter-maré é normalmente mais complicado do que difícil. Uma grande quantidade de levantamento tende a ser feita nos períodos de maré cheia e baixa devido a maior disponibilidade de tempo. No entanto, isso pode ser compensado por um levantamento submerso.

O *levantamento submerso* é uma atividade especializada, com muitas limitações incluindo a atividade das ondas, movimento das marés, temperatura e visibilidade da água. A visibilidade da água é o fator que determina a acuidade e qualidade do levantamento, e é um fator que muda dramaticamente de dia a dia como de hora a hora. A visibilidade da água varia de nula a 20 metros dependendo da profundidade da água, da qualidade da água, da penetração de luz, do tempo do ano, das condições de maré, de turbilhões, do crescimento marinho e especialmente da quantidade de partículas suspensas. O tempo de trabalho do mergulhador é limitado pela pressão e

profundidade e da disponibilidade de ar (embora isso possa ser suprido por uma demanda do mergulhador). As condições de trabalho podem ser desafiadoras, mas o levantamento das áreas submersas é essencial para determinar a condição do monumento e para planejar uma estratégia eficiente de conservação.

O objetivo do levantamento submerso é identificar com acuidade e qualidade uma quantidade de informação para determinar a condição da estrutura, e planejar os reparos necessários. O tipo de levantamento é normalmente uma combinação do estudo visual, levantamento com desenhos (geralmente em duas dimensões com descrições e medidas) e uma documentação fotográfica. Um vídeo pode fornecer informações contextuais complementares. Técnicas de tecnologia simples podem alcançar uma boa qualidade. Muitas tecnologias e equipamentos digitais para uso submerso são desenvolvidos para navios, mas são igualmente aplicáveis ao complexo, normalmente de forma orgânica e característica das ruínas.

A fotografia é o método mais útil de levantamento submerso, embora normalmente limitado pela visibilidade baixa, pouca luz e índice de refração da água (1.33). É normalmente necessário o uso de lentes grande angular (com a distorção consequente), girando em torno de 15 a 20mm. A baixa luminosidade pode ser modificada com luzes artificiais e a baixa visibilidade pode ser compensada pela escolha de melhor momento de mergulho e boas técnicas de mergulho para evitar sedimentos que disturbem o leito do oceano ou do monumento. A visibilidade submersa não permite que sejam feitas imagens grandes. Como as superfícies das ruínas tendem a apresentar grandes áreas planas de alvenaria, mosaicos de fotos superpostas são eficazes. Um mosaico de fotos pode ser rapidamente criado usando uma foto-torre com 50% de superposição entre as imagens (obtendo uma escala), para depois fazer as correções digitalmente, cujo custo benefício é bom e diante dos detalhes complementares que colaboram para o levantamento desenhado. Existe uma ampla gama de equipamentos sensores remotos geofísicos e técnicas disponíveis que são comumente usadas para mapeamento e interpretação de arqueologia submersa. A qualidade e acuidade das informações obtidas estão em contínuo desenvolvimento e podem ser valiosas para a interpretação do leito do mar assim como a extensão/distribuição das ruínas submersas. No entanto a maioria desses recursos não é utilizada para a conservação desse patrimônio. As exceções são veículos operados por controles remotos, que fornecem longos períodos de visualização (vídeos e fotografias) com monitoramento e pequenas amostras.

Diagnose da deterioração de ruínas submersas

Avaliação dos riscos de estruturas em alvenaria

A avaliação da deterioração e dos riscos das ruínas submersas é uma combinação de técnicas arquitetônicas padronizadas para técnicas de diagnose, intemperismo rochoso, erosão costeira e estudos geomorfológicos, suportados por desenhos, fotografias e vídeos, como técnicas de levantamento. Técnicas de laboratório podem ser utilizadas para se direcionar a problemas específicos. A fotografia é em especial importante para a avaliação de pedras e argamassas, assim como outras técnicas, como a do uso do microscópio eletrônico, tendem a ser limitadas pela presença abundante de sais marinhos e organismos característicos das pedras submersas e alvenarias.

As edificações, os complexos e sítios documentados nos estudos arqueológicos são compostos por uma variedade de materiais de construção como pedras, terra, madeira e outros materiais orgânicos, e materiais feitos pelo homem como argamassas, argilas cozidas ou cruas. Madeira e outros materiais orgânicos podem sobreviver em boas condições em ambientes submersos e em locais com água, e ruínas submersas podem conter uma certa quantidade de madeira (exemplo: estruturas, pilares, etc.). Metais, em especial o ferro, podem ser encontrados como decoração ou como objetos utilitários. A deterioração da madeira submersa e a corrosão dos metais nos ambientes marinhos são bem pesquisadas. A maioria das ruínas submersas é composta de materiais robustos como a pedra.

Monumentos em pedras têm a capacidade de durar e são interessantes casos de estudo por isso, e formas arquitetônicas diferentes e normalmente com superposição de períodos de uso histórico com propósitos culturais e sociais específicos. O termo pedra cobre um grupo de materiais com grande diferença de força, durabilidade e aparência. Ainda, percorrendo a história até os dias de hoje, a pedra tem sido escolhida como um material de boa qualidade e durabilidade aplicado muitas vezes em construções importantes. A deterioração da pedra em construções pode ser considerada como uma combinação de fatores ambientais, falências nas edificações e nas pedras – mais comumente na alteração das superfícies das pedras.

A deterioração de ruínas submersas ou parcialmente submersas é quase sempre devida a uma combinação de muitos fatores, incluindo a erosão mecânica provocada pelas ondas, variações de seco-úmido das marés, intemperismo provocado por sais, bio erosão e outras influências biológicas, congelamento e estresse mecânico relacionado, e alterações morfológicas de praias e linhas costeiras. As superfícies em argamassas comprometidas da edificação são também suscetíveis a uma grande faixa de processos de deterioração, normalmente evidenciados pela investigação visual de indicadores de formas de deterioração, que são comprovadas por análises laboratoriais. Ruínas submersas apresentam maiores complexidades, como nas partes superiores (secas) semelhantes a edificações em terra e nas partes inferiores

(molhadas) podem mostrar formas totalmente diferentes de processo de deterioração das pedras, variando significativamente de processos encontrados em ambientes urbanos ou outros sem poluição. Embrechamentos, recobrimentos e argamassas de cal comuns em edificações são particularmente suscetíveis à dissolução e sobrevivem mal em contextos marinhos. Juntas secas podem variar de cavidades locais a perdas consideráveis, conduzindo à deterioração e/ou colapso de seções da alvenaria. Juntas secas são comuns nas bases dos muros, onde areia e outras matérias particulares são como abrasivos aquáticos. Juntas secas incipientes podem também ser exploradas por uma enormidade de organismos marinhos, que tendem a aumentar os vazios. Deve ser observado que num contexto marinho uma junta seca pode se estender a mais de um metro de profundidade dentro do muro. A parte interna do muro pode também conter uma quantidade substancial de vazios causados por dissolução e pode necessitar de *grouts*.

A estrutura e materiais individualizados de um monumento submerso podem então ser suscetíveis a uma gama de processos de deterioração terrestre e marinho, com formas específicas para essa última. Em acréscimo à deterioração das superfícies pétreas submersas e argamassas, processos marinhos específicos incluem: escavação natural, abrasão e corrosão, colonização de organismos marinhos, ação das ondas e ação de sais marinhos.

Escavação natural

(minando)

A escavação natural e o colapso de estruturas localizadas em costas acontecem predominantemente por processos de ação sobre a geologia que suporta a construção, mais do que nos materiais primários de fabricação do monumento. Por exemplo, a costa leste da Irlanda tem longas escarpas arenosas que apresentam perda constante de material através de erosão eólica e erosão devido a ondas provenientes das marés altas. A base das escarpas arenosa é quase sempre coberta por uma praia pedregosa e altamente móvel, causando erosão mecânica através de abrasão na base das escarpas combinado com a ação das ondas, processos subaéreos e tempestades, resultando em falhas repentinas de seções da superfície das escarpas. O nível de erosão é estabilizado pelo processo de deposição das marés. No entanto, o processo de transporte de sedimento ao longo das costas remove esse material, resultando em colapsos posteriores. Como a cabeça protetiva dos detritos que entraram em colapso é gradualmente removida pelo processo de transporte de sedimentos locais, o ciclo de erosão é reiniciado. Os processos de erosão e depósito resultam tanto em deformações do mar com a terra e em diferentes níveis de praias flutuantes. Pode então haver alterações verticais e horizontais caracterizando a área de praia.

Mudanças na geomorfologia da linha costeira resultam em inúmeros processos destrutivos que ameaçam os monumentos, incluindo escavação natural, abrasão e corrosão, e exposição de áreas anteriormente enterradas para os ciclos seco-úmido das marés. O processo de escavação natural normalmente conduz a uma exposição das fundações típicas das construções históricas e a formação de rachaduras, que tendem a desenvolverem-se rapidamente e levarem a um colapso parcial de seções do monumento.

Ação das ondas, abrasão e corrosão

O nível de exposição, a severidade e o tipo de ação das ondas são fatores importantes para o estudo do monumento. Quase todas as erosões de costa podem ser explicadas pela ação de diferentes tipos de ondas. A gravidade age como a principal força para trazer a água do mar em equilíbrio. Ondas são geradas periodicamente (influenciadas pelo sol e lua através das marés) ou não periódicas (influenciadas pelo vento). O desenvolvimento das ondas depende de três fatores: velocidade, duração e distância pelas quais o vento passa. Costas oceânicas passarão por experiências de ondas de muito maior energia do que em pequenos mares, canais ou baías protegidas. Tempestades de ondas tendem a ser localizadas, de curta duração e irregulares; no entanto, uma vez que essas ondas se movem para fora da área de tempestade, elas naturalmente se transformam em ondulações de alturas, comprimento e periodicidade regulares, que alcançam as costas com menos energia. Uma vez próximas da costa e de áreas de menor profundidade, as ondas passam por uma série de transformações governadas pela redução de profundidade (que faz com que as ondas cheguem mais ordenadas quando se aproximam das costas, com cristas estreitas e mais planas), com contornos de profundidade (levando a variações de altura de rebentação e correntes). Eventualmente, a água é tão rasa que as ondas se sobrepõem, resultando num vai e vem da água do mar, que resulta em modificações do perfil da praia.

Avaliação da morfologia da costa e o tipo de ação de ondas que impactam nas proximidades das ruínas submersas, ou nas próprias, permite consideráveis informações das épocas de potencial degrado ou longos termos de mudanças e pressões, e um melhor entendimento dos processos de deterioração. A ação das ondas vai causar abrasão na superfície da alvenaria tanto por impacto direto e também por abrasão de partículas de areia suspensas, normalmente ocasionando o arredondamento e o polimento das superfícies das unidades das pedras, e com a remoção da argamassa dos rejuntas que irão romper o tecido do muro, acarretando no seu colapso. Na base do muro, a alvenaria pode mostrar um arredondamento

significativo e arranhões causados pela abrasão de partículas, pedras e pedregulhos contra a base da estrutura sobre a ação das ondas. Isto normalmente ocorre numa faixa que se estende da base do muro a 100 - 300mm. A inspeção de locais submersos irá quase sempre demonstrar uma elevação significativamente de maior progressão e de deterioração severa – normalmente alinhada com os ventos dominantes e áreas abertas ao mar. Cavidades podem também se desenvolver em certas áreas na topografia das superfícies das edificações e no leito do mar adjacente.

Maiores estresses são causados pelas ondas com remoção de partes das pedras – o que é acreditado pela maioria dos pesquisadores com sendo a forma dominante de mecanismos de erosão em muitas costas rochosas. Ruínas submersas podem ser consideradas como costas artificiais de rocha e estão sujeitas a muitos dos mesmos processos de deterioração de escarpas rochosas. A perda ocorre numa faixa estreita estendendo-se logo abaixo do nível da água parada até a parte mais alta onde batem as ondas, causadas pelos choques de pressão das ondas, batidas de ondas e compressão de ar nos rejuntas. Os blocos de alvenaria podem ser deslocados como resultado de bolsas de ar captadas ao longo dos rejuntas, alguns planos de sedimentação e em outras áreas vulneráveis onde as ondas atingem a edificação. O processo é cíclico e cada onda traz uma pressão repentina e uma distensão também repentina, e torna-se um processo efetivo de técnica de erosão quando partículas de areia são contidas na água, tornando-a uma solução extremamente abrasiva. Os processos são mais deletérios durante o inverno quando as ondas são maiores, mais degradantes quando a frente da onda é paralela às edificações, reduzindo a quantidade de energia que é defletida ao longo da elevação da construção do que se a atinge de forma angular.

Organismos marinhos

A colonização biológica é uma constante em edificações e monumentos arqueológicos, e há um crescente debate sobre os impactos (benéficos e maléficos) do desenvolvimento em superfícies pétreas, recobrimentos macios em topos de edificações, e as interações e competições de valores entre o patrimônio natural e construído. Espécies biológicas, tanto da flora quanto da fauna, exploram as superfícies das edificações num modo semelhante em habitats rochosos. O controle da colonização biológica nefasta nas superfícies edificadas, como o crescimento de era e a bio-erosão, é um campo estabilizado na conservação de arquitetura. No entanto, os organismos marinhos introduzem um novo mundo de espécies complexas competindo pelo habitat de litorais e áreas sub-litorâneas. Um número de fatores determina a natureza, significados e progressão (se isso pode ser estabilizado) da atividade marinha

de bio-erosão. As espécies marinhas se distribuem em planos verticais e horizontais, e a variação de espécies é controlada pela disponibilidade de umidade (características da maré local que determina períodos de inundação e exposição ao ressecamento) e ondas e correntes. Em geral, a dimensão de cada zona orgânica aumenta com o crescimento de energia das ondas, com as espécies encontradas nas encostas expostas e numa distinção abrupta na transição entre habitats marinhos e terrestres em abrigos cobertos, onde a influência da maresia e das ondas é consideravelmente menor. Outros aspectos dizem respeito a níveis de salinidade, níveis de poluição, temperatura e quantidade de exposição de luz.

Ambientes submersos podem apresentar um ambiente complexo de espécies de fauna e flora e a localização e distribuição dos organismos marinhos nas proximidades das ruínas submersas fornece informações importantes sobre o nível e severidade de exposição. Superfícies expostas de edificações litorâneas são dominadas por comunidades de mexilhões comuns (*Mytilus edilus*) e cracas (*Semibaleus balanoides*, *Chthamalus* sp.) com moluscos (*Patella* sp) sobre tudo. Nas partes expostas submersas, normalmente são dominadas por algas marinhas, com uma base de foliose vermelha ou marrom de raízes marinhas formando uma densa cama embaixo da zona de algas. Sargaços também ocorrem em distintas faixas horizontais, e uma larga faixa de sargaços e sementes marinhas expostas durante a maré baixa, indica o potencial de ação de ondas ou correntes de marés. Anomalias locais podem ser identificadas pela colonização biológica. A substituição das algas por espécies animais mais robustas como esponjas, travesseiro, ascidianos, broiozanos, anêmonas, cracas e caramujos calcários indicam uma área de ressurgência ou intenso movimento aquático. A variação e os tipos de organismos marinhos encontrados em ambientes submersos ou em ruínas parcialmente submersas podem ser utilizadas como um mapa indicador das condições locais. No entanto, a presença e atividade desses organismos marinhos têm impactos diretos e indiretos na alvenaria submersa.

A eficácia da erosão marinha por zonas varia de acordo com a natureza e durabilidade do tipo de tijolos ou pedras da alvenaria. Pedras calcárias macias, rochas siliclásticas e arenitos podem ser muito vulneráveis a dissolução e organismos permanentes. Os organismos mais significantes são bactérias marinhas, microflora (por exemplo: algas marinhas e terrestres, líquens) e raspadores (que pode incluir uma grande faixa de espécies incluindo moluscos e gastrópodes, caranguejos, estrelas do mar e alguns tipos de peixes raspadores como desbaste e raspagem mecânica da superfície da pedra). Organismos trazidos pelas marés que fazem buracos como caranguejos e lagostas são muito comuns em aberturas de rejuntas, e enguias maiores de 2 metros em comprimentos podem ser encontrados nas bases dos muros dos portos e nas ruínas submersas cujas condições permitem.

Uma grande variedade de algas verdes, vermelhas e marrom é encontrada em ambientes marinhos, desde Chlorophyta (alga verde) na zona litorânea, Rhodophyta (alga vermelha) em litorais mais baixos e em zonas sublitorâneas, e cyanophyta aparentando como uma camada azul-verde em partes mais altas do litoral e zonas supra litorâneas. Algas são grudadas às superfícies dos edifícios e, como seus correlacionados terrestres, têm processos metabólicos associados que podem alterar a superfície da rocha. Algumas algas marinhas, como as cyanophytas endolíticas, e outras espécies de microflora, tais como fungos e líquens, são também desbastadores eficazes. O desenvolvimento das algas é inibido pelos peixes raspadores, embora esses possam causar interrupções (incluindo a formação de falhas em determinadas situações) porque eles desgastam mecanicamente a superfície da alvenaria para remover a microflora. Líquens tendem a dominar as zonas superiores do litoral nas águas do norte, mostrando um padrão de zoneamento determinado por períodos de imersão/exposição. O comprimento e peso de faixas de líquens aumenta com o crescimento à exposição, com líquens cinza (*Ramalina* sp.) sobre líquens amarelos (*Xanthoria* sp.), sobre a zona de líquens pretos (*Verrucaria maura*) na base.

Organismos marinhos podem incluir algumas cracas, vermes polichaete, gastrópodes, equinóides, moluscos bivalvulos e esponjas, e podem escavar para habitações, reprodução, ancoragem e nutrição, e alguns organismos raspadores usam demarcadores químicos de percurso para retornar para locais específicos após noites de ausência. Esses organismos podem ter efeitos diretos e indiretos sobre a superfície da alvenaria. Espécies que fazem perfurações escavam substratos rochosos como alvenaria de pedra e rejuntas de argamassa, tanto mecânica como quimicamente, e o tamanho do furo varia com o tamanho do organismo, de 1 a mais que 10mm de diâmetro. O furo ou sulco é removido diretamente da superfície da pedra formando uma trama tipo colmeia, e contribui para a retração da superfície da pedra porque fornece uma grande superfície para outros processos químicos e físicos. Elas contribuem para a perda superficial das ruínas submersas. Esses animais escavadores tendem a fazê-lo na base dos muros da alvenaria submersa e podem penetrar profundamente nos muros onde o rejunte foi aberto.

Compreender o processo da bio-erosão marinha é muito difícil, e é afetado pela densidade populacional, o tipo de ambiente, as características da edificação (pedra e rejunte), a gama de espécies (algas, crustáceos roedores, etc.) a ser considerada, contrabalançando com a repetição e eficácia do método de levantamento escolhido. Deve ser também observado que alguns organismos marinhos podem ter uma ação protetiva, protegendo a superfície de ondas e ataques físico químicos do litoral e sublitoral. Por exemplo, tijolos queimados a mão do forte submerso da vila de Rosslare no sudeste da Irlanda foram capazes de reter características superficiais como marcas verdes debaixo de abrigos recobertos por algas vermelhas, ainda que após 70 anos de exposição a zonas de grande energia, com ciclos diários de marés, ação de ondas e

abrasão de partículas de areia. Uma cobertura densa orgânica como de algas marinhas pode agir como um amortecedor para as ondas, e também pode reter umidade na superfície do edifício e reduzir o ciclo seco-úmido de zonas litorâneas.

Sais marinhos

Eu observei ... que sais exudados do solo em tamanha extensão que mesmo capazes de prejudicar as pirâmides. – Heródoto

A formação, transporte e cristalização de sais em rochas e outros materiais porosos de edificações têm sido reconhecido como uma das primeiras causas de deterioração de construções históricas, monumentos arqueológicos artefatos arqueológicos. Sais são minerais macios e leves que são altamente suscetíveis à dissolução e recristalização. Eles se dissolvem em água, transforma-se em solução e cristalizam quando a evaporação da água acontece. Todas as águas circulantes são soluções ligeiramente alcalinas (pH entre 7,5 e 8,4), e podem conter Na^+ , K^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ , NH_4^+ , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^- e Cl^- . Sais podem não ser a causa original da deterioração, mas a sua presença em conjunto com água e/ou umidade pode aumentar significativamente o processo de deterioração da rocha. Charola relembra que a presença de água e/ou umidade em materiais porosos é tão importante quanto o tipo de sal e sua natureza, textura, porosidade e superfície interna da matéria; e que sais impactam significativamente em pedras deterioradas, com deslocamento e desintegração granular, sendo prejudiciais a todos os tipos de pedra.

Sais têm sido estudados devido à sua contribuição para a deterioração numa grande variedade de tipos de pedras usadas para a construção de monumentos. A ocorrência, origens, mecanismos e efeitos dos sais nos monumentos de pedra têm sido um tema recorrente em conferências e fóruns por algum tempo, considerando os processos de deterioração, casos de estudo específicos e tratamentos ocasionais de conservação. A maresia inclui uma gama de partículas variando de características físicas, tais como gotas tipo filme, jatos de gotas, gotas de água de mar, salmoura, gotas de sais higroscópicos, núcleos e partículas de sais marinhos. Essas gotas são formadas em bolhas suspensas nas cristas das ondas, onde uma grande quantidade de água e ar é misturada. Sais de maresia derivam dessa emissão dessas diminutas gotas de água do mar evaporadas criando sais marinhos (principalmente Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-}). Cloreto de sódio (NaCl), o sal mais comum nos oceanos, podem ser transportados até 200 milhas ao interior, depositando-se no solo e sobre edificações. Danos provocados por sais

marinhos são citados por numerosos autores nas cidades europeias nas costas do Mediterrâneo, no Mar do Norte e na costa Atlântica. *Galán et al* afirmam (principalmente com relação a mármore e pedras calcárias) que a deterioração do patrimônio construído da região do Mediterrâneo pode atribuir (em ordem de importância) os fatores abaixo:

- 1 Atividade de maresia
- 2 Poluição urbana e industrial (em nível local)
- 3 Outros fatores (como umidade ascendente salina e percolação de água)

As três maiores fontes de sais no contexto de ruínas submersas são inundações, umidade ascendente (tanto de água marinha quanto de salmoura) e maresia. Fontes adicionais de sais marinhos em monumentos costeiros podem incluir pedras de construção retiradas de costas, o uso de areia não lavada de praias para agregado da argamassa e mesmo o uso de água do mar para misturar a argamassa. Mudanças na composição atmosférica, chuvas, temperatura e tempestades terão impactos sobre as pedras em geral, mas terão impacto mais significativo em deterioração relacionada a sais marinhos. Costas não poluídas com grande nível de precipitação talvez não exibam alto nível de deterioração relacionada ao intemperismo causado por sais, porque eles serão lavados da superfície da rocha antes que possam se acumular em níveis perigosos. O nível de deterioração causado pela maresia é geralmente considerado severo, eles são formados quando partículas salinas (Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-}) são deixadas evaporar nas superfícies dos monumentos ou edificações, onde podem acumular e penetrar nos poros da pedra de construção, assim como no rejunte e no interior do muro.

Um monumento costeiro experimenta diariamente mudanças no ambiente devido ao movimento das marés – levando a um ciclo diário de umedecimento e episódios secos, aumentando o período de umidade de superfícies de sais marinhos. Grandes níveis de deterioração relacionada a sais marinhos podem então estar presentes. No entanto em locais de grande precipitação o contínuo efeito de lavagem da água da chuva ajudará na remoção dos sais da alvenaria. Alvenarias submersas devem ser consideradas como potencialmente muito carregadas de sais, variando a quantidade e a profundidade de penetração dos tipos diferentes de sais e da natureza da pedra em questão. Se a pedra permanece submersa, a superfície deveria permanecer em equilíbrio. No entanto, se a pedra tem sido recoberta, uma superfície escavada para conservação, a mesma pedra deve permanecer submersa em água de mar até que uma dessalinização apropriada possa ser feita por um conservador. Se a pedra é muito grande para ser estocada em tanque, materiais absorventes embebidos em água podem ser utilizados em pequenos intervalos como uma medida emergencial durante transporte para laboratórios de conservação. Dessalinização é normalmente feita com água corrente ou troca de água fresca, água destilada ou deionizada até que os sais

tenham sido removidos – normalmente confirmado pelo uso de medidores de condutibilidade. Tipos de pedras mais robustas podem requerer menores intervenções.

MAPA DE RISCO DE MONUMENTOS SUBMERSOS

Uma gama de procedimentos de conservação pode ter impacto numa ruína submersa. O tipo, a severidade e progressão das formas de deterioração podem ser vistas em zonas verticais e horizontais correspondendo a partes da costa de ação da maresia, submersas e entre marés. Mapear os riscos e vulnerabilidades nessas diferentes zonas é o modo mais eficiente de entender o processo de deterioração (através do mapeamento de formas de deterioração) e planejar uma estratégia de conservação.

PROTEÇÃO E CONSERVAÇÃO

A proteção de áreas submersas ou parcialmente submersas de ruínas engloba uma grande gama de medidas específicas para cada local incluindo a proteção da linha costeira, proteção e reparos nos monumentos (incluindo rejuntamento, recolocação de seções que entraram em colapso de alvenaria), e a manutenção do monitoramento e medidas de preservação. Muito pode ser aprendido com a experiência e conhecimento de preservação da natureza, que já desenvolveu ferramentas úteis para conservação de monumentos costeiros vulneráveis a riscos. Infelizmente, muitos dos princípios de conservação da natureza, como tratamento de manejo, não podem ser aplicados para conservação de arquitetura, e muitas opções de proteções da costa podem perturbar significativamente o monumento. Avaliação crítica de informações e soluções inovadoras desenham uma mistura de disciplinas estão prestes a serem aceitas como normas para ruínas submersas.