



Figura 1: Curvas do Pavilhão Emirados Árabes na Expo Milão 2015, Foster + Partners.
Fonte: www.archdaily.com.br.

A INFLUÊNCIA DAS DECISÕES ARQUITETÔNICAS NO CUSTO DO CICLO DE VIDA DA EDIFICAÇÃO

O presente artigo apresenta aspectos projetuais que têm influência no Custo do Ciclo de Vida da Edificação, especialmente nas fases de construção e uso. Dentre esses aspectos, serão abordados índices relacionados à geometria da edificação, ações para racionalização da construção e melhoria do seu desempenho energético.

DECISÕES GEOMÉTRICAS

A relação entre a forma da edificação e os custos incorridos na execução da mesma é objeto de estudo há bastante tempo, e existem vários índices que auxiliam na sua análise. Dentre eles, estão o Índice de Compacidade (IC) e o Fator de Forma (f).

ÍNDICE DE COMPACIDADE (IC)

O IC é o resultado da relação entre o perímetro da forma analisada e o perímetro de um círculo de mesma área, e pode ser utilizado como indicador do desempenho arquitetônico, muito útil para avaliar o quanto o projeto de um espaço pode estar próximo ao perímetro mais econômico, determinado por suas paredes externas.³ Esse índice foi definido na década de 1970 na universidade escocesa de Strathclyde, pelo *Building Performance Research Unit*, e é calculado pela seguinte equação:³

$$IC = \frac{2\sqrt{Ap \cdot \pi}}{Pp} \times 100$$

IC= Índice de Compacidade
Ap= Superfície do projeto
Pp= Perímetro das paredes externas

Assim, quanto mais próximo de 100, que é o valor de compacidade do círculo, mais econômica seria a construção, sendo que mesmo o valor para a forma quadrada, que é de 88,6, dificilmente é atingido pelos projetos arquitetônicos típicos.³

O custo da edificação pode ser dividido em: planos horizontais (25%), planos verticais (45%) - sendo os externos os mais onerosos -, instalações em geral (25%), e canteiro de obras e outros trabalhos (5%). Portanto, percebe-se que os planos verticais apresentam grande impacto nos custos, podendo-se inferir que a compacidade é um importante parâmetro de economicidade.⁴

Ademais, a fim de considerar o número de arestas e trechos curvos das fachadas no cálculo, devido ao seu impacto nos custos, Mascaró (2010) sugere a utilização do Índice Econômico de Compacidade (IeC), dado pela equação a seguir:

$$IeC = \frac{2\sqrt{Ap \cdot \pi}}{Pep} \times 100$$

IeC= Índice Econômico de Compacidade
Ap= Superfície do projeto
Pep= Perímetro econômico do projeto

O Ciclo de Vida das edificações compreende quatro fases: a fase de produção de materiais; a fase de construção; a fase de uso; e a fase de fim de vida.¹ Considerando que a vida útil exigida para os sistemas de um edifício pode chegar a 50 anos², as decisões projetuais podem repercutir por décadas, tendo grande impacto no custo global.

A aplicação dos recursos de maneira eficiente baliza a idealização de empreendimentos públicos e os requisitos de sustentabilidade são obrigações reguladas por lei. Desse modo, conforme preconizado nos princípios constitucionais da administração pública, as decisões sobre as soluções nos projetos arquitetônicos devem sempre buscar economicidade e eficiência.

Sendo PeP, o perímetro que considera arestas e curvas, calculado por:

$$Pep = PPr + 1,5Ppc + \frac{nA}{2}$$

PeP = Perímetro econômico do projeto
PPr = Perímetro das paredes exteriores retas
Ppc = Perímetro das paredes exteriores curvas
nA = Número de arestas das fachadas

Dessa forma, o autor considerou que a construção das curvas custa 50% a mais do que os trechos retos e que cada aresta custa meio metro a mais, assim, o índice do círculo passa a ser 66,67%.⁵

Como exemplo da influência do leC, tem-se um estudo publicado em 2015, no qual foram analisados cinco projetos de edifícios de habitação de interesse social, com três sistemas construtivos

diferentes (alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, alvenaria estrutural com blocos de concreto e paredes de concreto), que obteve como resultado um emprego de, aproximadamente, 20% a mais (em quilogramas) de material nos projetos com menor leC, chegando a 30% na comparação entre os sistemas construtivos, conforme o gráfico a seguir.³

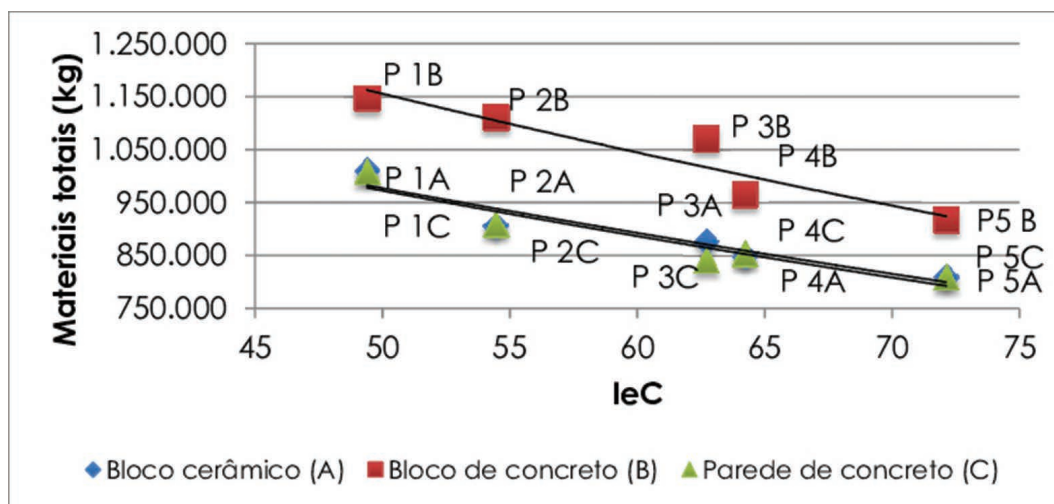


Figura 2 – Relação entre consumo de materiais e compactidade.
 Fonte: Postay *et al.*, 2015.

FATOR DE FORMA (F)

Outro indicador que pode ser utilizado é o Fator de Forma (f), o qual estabelece a relação entre a superfície da envoltória e o volume, sendo expresso pela equação a seguir:⁶

$$f = \frac{S}{V} \quad (m^{-1})$$

S= superfície da envoltória
 V= volume do edifício

Desse modo, a compactidade máxima é encontrada na esfera, visto que todos os elementos de sua envoltória têm a mesma proximidade do centro, enquanto que o cubo é a forma que tem a melhor relação entre os elementos paralelepípedicos.⁶

As características da superfície da envoltória do edifício determinam as trocas de calor entre o ambiente interno e o externo, enquanto o volume do edifício está relacionado ao consumo de energia e à capacidade de seu armazenamento.⁶ Assim, a otimização do Fator de Forma (f) facilita a proteção do edifício e pode reduzir a troca de energia entre o interior e o exterior, bem como o consumo de materiais e energia necessários para a sua produção, devendo ser considerado na fase inicial do projeto, pois interfere diretamente na economia e desempenho ambiental dos edifícios.⁶

RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Pode-se definir a racionalização da construção como a aplicação mais eficiente dos recursos disponíveis em todas as etapas do processo construtivo. Para a sua implementação, deve-se inicialmente preocupar-se com o sistema estrutural, seguindo-se pela alvenaria de vedação, visto que o subsistema de vedação vertical tem grande influência nos demais subsistemas como: revestimentos, impermeabilizações, esquadrias, instalações etc. O conjunto desses serviços representa uma parcela considerável do custo da obra.⁷

No Brasil, a construção civil, apesar dos avanços, ainda apresenta processos bastante artesanais, razão pela qual não se garante uma execução racionalizada, mesmo que a racionalização tenha sido premissa de projeto. Entretanto, é importante, especialmente em obras de grande porte, o esforço dos envolvidos na busca pela mudança de cultura, visto que a racionalização pode ser um caminho para o aumento da produtividade e diminuição dos custos. Para tanto, os projetistas poderão utilizar como diretrizes básicas de projeto a coordenação modular e a padronização.

Figura 3 - Racionalização da construção: casas para todos - dortheavej residence / bjarke ingels group.
Fonte: www.archdaily.com.br.



COORDENAÇÃO MODULAR

A coordenação modular consiste num sistema capaz de ordenar e racionalizar a confecção de qualquer artefato, desde o projeto até o produto final.⁸ O que é possível, principalmente por meio da adoção de uma medida de referência, o módulo, a partir da qual derivam por multiplicação ou fração as dimensões de todos, ou de grande parte dos elementos do objeto a ser produzido.⁹ Dessa forma, torna-se mais fácil obter uma mesma dimensão pela combinação de diferentes elementos, o que resulta numa inter-relação harmônica dos componentes entre si e com o total do edifício.⁹

Portanto, ao se estabelecer um módulo, tem-se como objetivo a coordenação das dimensões das partes que constituem a edificação, garantindo flexibilidade de combinação de medidas e otimização da produção.⁹ E por conseguinte, ter a possibilidade de utilização de componentes construtivos que prescindam de

grandes adaptações no canteiro e de modificações entre o projetado e o construído, evitando improvisos e desperdícios, além de encurtar os prazos de execução e, conseqüentemente, reduzir os custos.⁹

Ademais, outra vantagem inerente à modulação é a melhoria na compatibilização dos projetos essenciais e complementares, o que implica na mitigação das incongruências entre os sistemas. Indispensável especialmente nas grandes obras, diante da necessidade de otimização dos seus processos construtivos e da coordenação dos projetos, como obras institucionais, indústrias, escolas, hospitais, conjuntos habitacionais, entre outras.

No Brasil, sobre esse tema, tem-se a ABNT NBR 15.873:2010 - Coordenação modular para edificações, a qual traz a definição de termos, apresenta os princípios da coordenação modular para edificações, e adota para módulos básicos

a medida padrão de 100mm, entre várias outras normas. Como também já existem diversos estudos, para tipologias específicas como estabelecimentos hospitalares, com recomendações de dimensões

PADRONIZAÇÃO

Outro aspecto que contribui para a racionalização é a padronização, que deve estar presente da concepção à execução da obra. Essa é uma decisão que se destaca na fase projetual, por meio da definição e especificação de elementos, componentes e materiais, com características que permitam a intercambialidade, diminuam os desperdícios, aumentem a economia de escala e facilitem a manutenção e expansão.

Para tanto, deve-se buscar, dentre outras ações, a especificação de materiais com maior versatilidade de aplicação, componentes normatizados e itens facilmente encontrados no mercado, a fim de melhorar a manutenibilidade e complementaridade. E ainda, sempre que possível, evitar as desnecessárias variações dimensionais entre componentes/

modulares que se mostraram mais vantajosas, como o uso do módulo de 1,25m no consagrado caso de racionalização da construção das unidades da rede Sarah.⁹

elementos semelhantes, como esquadrias e elementos estruturais

Assim, a falta de estabelecimento de padrões na concepção do projeto pode induzir a um processo com poucas possibilidades de racionalização e, consequentemente, um consumo maior de materiais, aumentando o custo global da edificação. Como observado na pesquisa realizada por NEVES (1994), a qual mostrou que a falta de padronização dos blocos cerâmicos leva a um acréscimo de 12% no consumo de argamassa de assentamento e 33% na argamassa de revestimento. Ademais, a padronização, assim como a modulação, corrobora ainda com a compatibilização entre as diversas disciplinas de projeto.¹⁰

DESEMPENHO ENERGÉTICO

As soluções projetuais voltadas para a melhoria do desempenho são um excelente caminho para a economicidade. Essas alternativas apresentam um retorno econômico a longo prazo devido ao aumento da durabilidade e eficiência dos sistemas.

SEGUNDO O GUIA CBIC DE BOAS PRÁTICAS EM SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, "PADRÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA REPRESENTAM, EM MÉDIA, AUMENTO DE 5% NO CUSTO DAS CONSTRUÇÕES, MAS GERAM ECONOMIA DE ATÉ 40% NA OPERAÇÃO DO EDIFÍCIO".¹¹

IMPLANTAÇÃO

A implantação do edifício no terreno está diretamente relacionada ao seu desempenho energético, pois a escolha da orientação solar das fachadas e mesmo a locação da edificação com relação aos elementos existentes e características topográficas locais influenciam diretamente no aproveitamento/proteção dos ventos dominantes e da iluminação natural, sendo relevante aspecto para se obter uma redução no consumo de energia.

Portanto, para a definição da solução de implantação, deve-se conhecer as características locais - elementos climáticos, topografia, elementos construídos, vegetação, entre outros -, para que se tenha o menor custo na consecução das condições

de conforto almejadas para o interior do edifício, sendo recomendável o uso de programas de simulação para esse estudo.

Assim, na concepção do zoneamento, é interessante que sejam agrupadas as áreas que possuam necessidades térmicas semelhantes, bem como que a iluminação natural seja a fonte de iluminância preferencial, desde que não se prejudique a funcionalidade do projeto. Quando o aproveitamento da iluminação e da ventilação naturais for desejável, mas o ambiente não estiver locado nas fachadas, pode-se criar pátios internos ou ainda elementos na envoltória da edificação que favoreçam a entrada da luz solar, como veremos no item a seguir.¹²



Figura 4 - Centro educativo 'Montecarlo Guillermo Gaviria Correa' / empresa de desenvolvimento urbano de Medellín.
Fonte: www.archdaily.com.br.

É importante lembrar ainda, que além da relação da implantação com o desempenho energético, a sua solução pode ser fator decisivo no custo dos serviços preliminares de movimentação de terra.

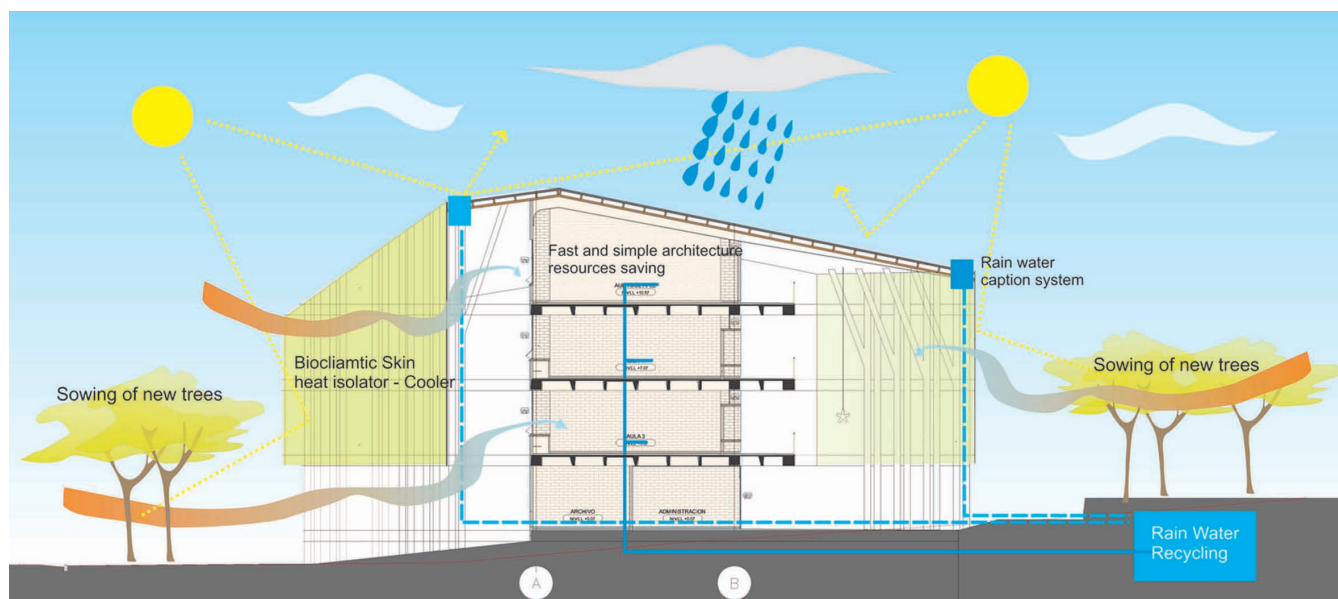


Figura 5 - Centro educativo 'Montecarlo Guillermo Gaviria Correa' / empresa de desenvolvimento urbano de Medellín.
Fonte: www.archdaily.com.br.

ENVOLTÓRIA

Como citado anteriormente, as trocas de calor entre o interior e o exterior do edifício ocorrem por meio da sua envoltória – paredes, tetos e pisos. Em decorrência disso, o desempenho energético do ambiente construído está intimamente relacionado às suas características geométricas e ao tipo de material que constituem seus planos externos que, portanto, devem ser definidos de acordo com os dados climáticos do local.¹²

Assim, ao se avaliar a geometria quanto ao aspecto de eficiência energética, deve-se considerar para regiões de clima quente o uso das formas esbeltas com aproveitamento dos ventos dominantes ou formas compactas com proteção solar das aberturas e resistência térmica das fachadas. Já para as regiões de clima frio, as formas próximas ao quadrado, com alto grau de compacidade, enquanto que nas de clima temperado, o uso da forma alongada na direção norte-sul para obter maior insolação das fachadas principais ao longo do ano.⁴

Ademais, é importante conciliar a utilização de dispositivos de proteção/controle da iluminação natural como brises, marquises, prateleiras de luz, sheds, entre outros, capazes de reduzir/controlar a incidência solar, contribuindo para a minimização dos gastos com climatização e iluminação artificial.

Já no que se refere aos materiais, para a sua correta especificação devem ser observados seus respectivos índices de transmitância, absortância, refletância, capacidade e atraso térmico, recomendando-se a utilização dos parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 15220:2008.12

Além disso, na escolha das cores das superfícies da envoltória, recomenda-se observar os índices de absortância solar (α) por zona bioclimática preconizados na Portaria INMETRO 372/2010, sendo que de forma geral é mais eficiente o uso de tonalidades escuras (maior índice) nas faces que necessitam de maior carga térmica e tonalidades claras nas que a incidência solar não seja desejada. A Portaria INMETRO 50/2013, detalha os índices das cores mais utilizados em revestimentos de paredes e de coberturas.¹²



Figura 6 - Solução de envoltória e chaminé solar que dispensou o uso de ar condicionado na sede da empresa de desenvolvimento urbano de Medellín, Edu Medellín.
Fonte: www.archdaily.com.br.

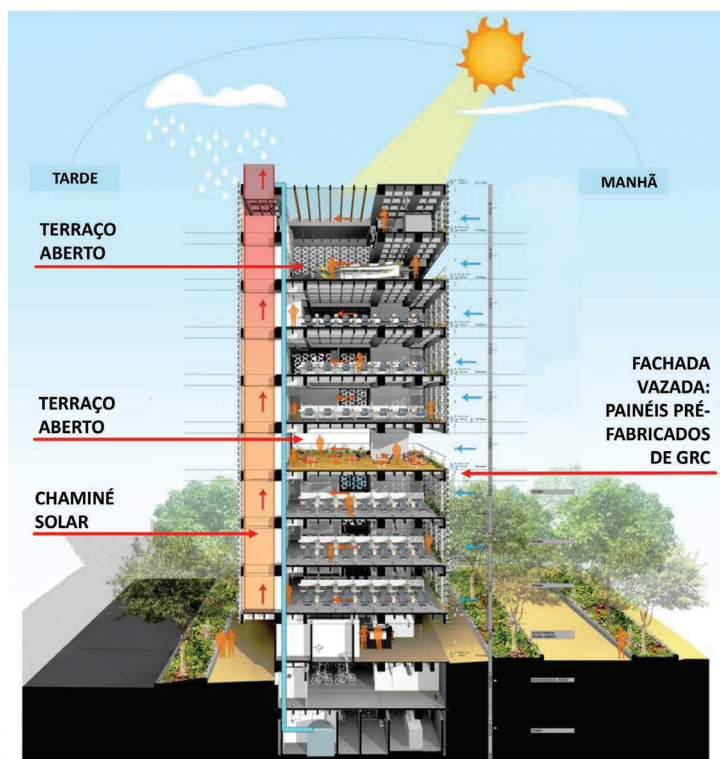


Figura 7 - Desenho esquemático do edifício da sede da EDU Medellín.
Fonte: Adaptada de www.archdaily.com.br.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação com o custo total da obra não é um tema recente, todavia é certo que a sua forma de avaliação mudou, tornando-se mais complexa e abrangente. Nesse contexto, o surgimento de conceitos como o de Ciclo de Vida e por conseguinte, o de Custo do Ciclo de Vida retratam essa mudança de paradigma, sendo um reflexo da busca pela redução dos níveis de consumo e pela sustentabilidade nos tempos atuais.

Sabendo-se que as decisões arquitetônicas são fatores decisivos na redução dos valores despendidos nas quatro fases do Ciclo de Vida da Edificação,

é fundamental que os profissionais responsáveis pelos projetos atuem e pensem de forma global e integrada, a fim de que a preocupação com a economia e a sustentabilidade se tornem intrínsecas desde os processos iniciais de definição do partido arquitetônico até o final do seu ciclo de vida.

Vale ressaltar, por fim, que o envolvimento e a integração entre os projetistas das diversas áreas são essenciais para assegurar a eficácia das soluções propostas, bem como estimular um esforço multidisciplinar, agregando maiores ganhos econômicos por meio de projetos mais funcionais e compatibilizados.

REFERÊNCIAS:

1. MEDEIROS, Larissa Mendes; DURANTE, Luciane Cleonice ; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolonio .Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. *Ambient. constr.* vol.18 no.2 Porto Alegre Apr./June 2018.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
3. POSTAY, Renata.; KERN, Andrea P.; MANCIO, Maurício.; GONZÁLEZ, Marco A. S. Relação entre compacidade do projeto e consumo de materiais em EHS. IV Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído: Tecnologia e Sustentabilidade Gerando Qualidade no Ambiente Construído, Universidade Federal de Viçosa, 2015.
4. MASCARÓ, J. L. O Custo das Decisões Arquitetônicas. 5. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010.
5. NARLOCH, Tamyres Blenke. Modelo indicador da construtibilidade a partir da análise geométrica do projeto. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 215.
6. BARTH, Fernando; VEFAGO, Luiz Henrique M., VASCONCELOS, Cláudia. Compacidade dos espaços arquitetônicos. *Mix Sustentável - Edição 05/V3.N1*, 2017.
7. BARBOZA, Aline da Silva Ramos; SILVA, Marcelle Maria Correia Pais; DA SILVA, Larissa Lara; JÚNIOR, Josival Corrêa de Araújo. A técnica da coordenação modular como ferramenta diretiva de projeto.
8. PENTEADO, Adilson F. Coordenação modular. Dissertação de mestrado, defendida na Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1980.
9. CARVALHO, Antonio Pedro A.; TAVARES, Ígor. Modulação no Projeto Arquitetônico de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde: o caso dos Hospitais Sarah. In: III Fórum de Tecnologia Aplicada à Saúde, 2002, Salvador. Anais... Salvador: Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, Multigraf, 2002.
10. NEVES, Célia. Que bloco é esse? *Téchne*. São Paulo, n. 8, p. 18-20, jan./fev. 1994.
11. TELLO, Rafael; RIBEIRO, Fabiana Batista. Guia CBIC de boas práticas em sustentabilidade na indústria da Construção. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção; Serviço Social da Indústria; Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2012. 160p.
12. EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES. Ministério da Educação. Diretrizes de Sustentabilidade para projetos de Arquitetura e Engenharia em Hospitais Universitários - 1ª Edição – Produzido pelo Serviço de Apoio à MANUTENÇÃO PREDIAL E OBRAS – Brasília: EBSERH – Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares, 2018. 79 p.

AUTORA



Primeiro-Tenente (EN) Emanuella Nobre Venâncio Rodrigues
Ajudante da Supervisão de Projetos da DOCM-PROSUB

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

