SÉRGIO LEAL FERREIRA

**Proposta de ampliação do modelo IFC com
a contribuição do IES LM-63:
A luminária no ciclo de vida da Edificação.**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do Título de
Doutor em Engenharia

São Paulo
2005

SÉRGIO LEAL FERREIRA

**Proposta de ampliação do modelo IFC com
a contribuição do IES LM-63:
A luminária no ciclo de vida da Edificação.**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do Título de
Doutor em Engenharia

Área de concentração:
Engenharia de Construção Civil

Orientador:
Prof. Dr. Alexandre Kawano

São Paulo
2005

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 3 de outubro de 2005.

**Sérgio Leal Ferreira
(autor)**

**Alexandre Kawano
(orientador)**

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, Sérgio Leal

Proposta de ampliação do modelo IFC com a contribuição do IES LM-63: a luminária no ciclo de vida da edificação / S.L.

Ferreira. -- São Paulo, 2005.

185 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Edificações 2.Ciclo de vida 3.Iluminação artificial (Modelagem computacional) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

Deo omnis gloria

Aos pais, irmãos, amigos, professores, colegas.
A minha enorme gratidão a todos vocês que ajudaram,
rezaram, interferiram, animaram, me agüentaram, e
fizeram possível esse trabalho. Nunca serei capaz de
manifestar devidamente o meu imenso apreço por
todos vocês, mas eu vou tentar sempre...

Resumo

As atuais tecnologias de informação permitem a manipulação de um volume grande de dados por diversas pessoas simultaneamente, representando uma valiosa ajuda aos profissionais de AEC (Arquitetura, Engenharia Civil e Construção). Para servir de base a essa manipulação é imprescindível que os dados estejam organizados em um conjunto harmônico, consistente e compartilhável. Os benefícios são numerosos, principalmente advindos da maior facilidade, rapidez e segurança na comunicação entre os indivíduos diretamente atuantes no ciclo de vida da edificação. A complexidade de um conjunto de informações desse tipo é muito grande, tanto pelo número de informações necessárias e de pessoas envolvidas, quanto pela quantidade e diversidade de interesses relacionados ao uso dessas informações.

Nos últimos anos surgiram diversas propostas desses conjuntos de informações, em vários níveis de complexidade. Algumas propostas tiveram continuidade chegando a dar suporte a ferramentas computacionais muito utilizadas hoje em dia. É o caso do IES LM-63, sigla utilizada para se referir ao arquivo padrão de intercâmbio de dados relacionados às luminárias (*IES Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information*), elaborado pela IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) e aprovado pelo ANSI (*American National Standards Institute*), e do IFC (*Industry Foundation Classes*), que é um modelo amplo dos elementos do ciclo de vida de uma edificação elaborado pela IAI (*International Alliance for Interoperability*) e aprovado pela ISO (*International Organization for Standardization*).

Esta tese apresenta uma proposta de ampliação do modelo IFC na qual se inclui uma especificação mais ampla e eficiente do elemento luminária, baseada na descrição do IES LM-63. Analisam-se os caminhos possíveis para essa proposta e demonstra-se a viabilidade e as vantagens dessa ampliação ao utilizá-la no cálculo de iluminação de ambientes.

Palavras-Chave: Modelagem de produtos e processos, IFC, IES LM-63, AEC.

Abstract

Recent information technologies allow handling of a large data volume by a number of people concurrently, representing a valuable help to AEC (Architecture, Engineering and Construction) professionals. Organizing data in a harmonic, consistent and shareable set is essential to base the handling. Benefits are numerous, mainly due to easier, faster and securer communication between directly acting people in building lifecycle. This kind of information set is very complex, caused by the number of necessary information and involved people, and by multiple and distinct aspirations related with the use of this information.

In the last years, many and diverse information set proposals took place, in different level of complexity. Some proposals have continuity and even reached support computational tools broadly utilized. It is the case of IES LM-63, sequence that designate a standard file to luminaire data exchange (*IES Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information*), elaborated by IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) and approved by ANSI (*American National Standards Institute*), and IFC (*Industry Foundation Classes*), a wide range building lifecycle elements model elaborated by IAI (*International Alliance for Interoperability*) and approved by ISO (*International Standardization Organization*).

This doctoral thesis presents a proposal to extend IFC model in which is included a wider and more efficient specification of the luminaire element, based in IES LM-63 description. Possible ways to implement the proposal are analyzed and the feasibility and advantages of the extended data set are demonstrated.

Keywords: Product and process modeling, IFC, IES LM-63, AEC.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO	5
1.2. JUSTIFICATIVA	5
1.3. METODOLOGIA.....	9
2. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS INFORMAÇÕES RELATIVAS AOS OBJETOS DE UMA EDIFICAÇÃO.....	12
2.1. CARACTERÍSTICAS DO OBJETO EM SI MESMO.....	13
2.1.1. Níveis de especialização das características	15
2.2. RELAÇÕES ENTRE O OBJETO E O SEU CONTEXTO.....	17
2.3. MODELO DE INFORMAÇÕES.....	18
2.4. PADRONIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO EM AEC	19
2.4.1. Padronização x Modelagem de Produtos.....	23
3. UM MODELO DE DADOS PARA AUXILIAR NAS TAREFAS DE AEC	29
3.1. O MODELO IFC	31
3.2. O MODELO IFC COMO UM MODELO DE DADOS	37
3.3. DOCUMENTAÇÃO DO MODELO IFC	39
3.4. ARQUITETURA DO MODELO IFC	39
3.4.1. Camada de Recursos.....	42
3.4.2. Camada Central.....	43
3.4.3. Camada de Interoperabilidade	44
3.4.4. Camada de Domínio	45
3.5. PRINCIPAIS ESTRUTURAS DE MODELO NO NÚCLEO DO IFC.....	45
3.5.1. Conceito de Raiz	46
3.5.2. Conceito de Objeto.....	47
3.5.3. Conceito de Relacionamento.....	47
3.5.4. Conceito de Definição de Propriedade	48
3.6. ÁRVORE DE SUBTIPOS DA ENTIDADE OBJETO DO IFC	49

3.6.1.	<i>Classe Produto</i>	51
3.6.2.	<i>Classe Processo</i>	52
3.6.3.	<i>Classe Controle</i>	53
3.6.4.	<i>Classe Recursos</i>	54
3.6.5.	<i>Classe Grupo</i>	54
3.6.6.	<i>Classe Agente</i>	54
3.6.7.	<i>Classe Projeto</i>	54
3.7.	ÁRVORE DE SUBTIPOS DA ENTIDADE RELACIONAMENTO DO IFC	55
3.7.1.	<i>Classe Relacionamento de Atribuição</i>	56
3.7.2.	<i>Classe Relacionamento de Associação</i>	59
3.7.3.	<i>Classe Relacionamento de Decomposição</i>	60
3.7.4.	<i>Classe Relacionamento de Definição</i>	61
3.7.5.	<i>Classe Relacionamento de Conexão</i>	63
3.8.	ÁRVORE DE SUBTIPOS DA CLASSE DE DEFINIÇÃO DE PROPRIEDADES DO IFC	65
3.8.1.	<i>Classe IfcPropertyDefinition</i>	68
3.8.2.	<i>Classe IfcPropertySetDefinition</i>	69
3.8.3.	<i>Classe IfcTypeObject</i>	70
3.8.4.	<i>Classe IfcRelOverridesProperties</i>	71
3.8.5.	<i>Classe IfcTypeProduct</i>	72
3.8.6.	<i>Classe IfcPropertySet</i>	72
3.8.7.	<i>Conceito de Definições de Propriedades Dinâmicas</i>	73
4.	AMPLIAÇÃO DO MODELO IFC	75
4.1.	ABORDAGENS DO DESENVOLVIMENTO DE MODELOS AMPLIADOS	75
4.1.1.	<i>Conceitos existentes no Modelo IFC</i>	77
4.1.2.	<i>Conceitos que ampliam o Modelo IFC</i>	78
4.1.3.	<i>Novos conceitos</i>	78
4.2.	CONEXÃO DO MODELO AMPLIADO AO MODELO EXISTENTE	79
4.2.1.	<i>Subtipos</i>	79
4.2.2.	<i>Relacionamentos</i>	81
4.3.	MODELO PRELIMINAR PARA AMPLIAÇÃO DO IFC	85
4.3.1.	<i>Identificação de Classes nós-folha</i>	86
4.3.2.	<i>Identificação da hierarquia das Classes</i>	87
4.3.3.	<i>Identificação as cadeias de Atributos</i>	87
4.3.4.	<i>Retirada de Subtipos e Listas de Seleção</i>	89
4.3.5.	<i>Fechamento das cadeias de Atributos</i>	90
4.3.6.	<i>Identificação dos Conjuntos de Propriedades</i>	91
4.4.	NOVAS CLASSES A PARTIR DE CLASSES EXISTENTES	91

4.5.	NOVAS CLASSES NO ESQUEMA DE EXTENSÃO	92
4.6.	MODIFICAÇÕES EM CLASSES EXISTENTES	92
4.6.1.	<i>Acréscimo de Regras</i>	92
4.6.2.	<i>Acréscimo de Atributos Inversos</i>	93
4.6.3.	<i>Modificações não permitidas</i>	93
4.7.	REUTILIZAÇÃO DE ATRIBUTOS E PROPRIEDADES	93
4.8.	DEFINIÇÕES DE USO	94
4.9.	CONJUNTO DE PROPRIEDADES	95
4.9.1.	<i>Ocasões para o uso de um Conjunto de Propriedades</i>	102
4.9.2.	<i>Procedimentos para a definição de um Conjunto de Propriedades</i>	103
4.9.3.	<i>Definição básica do Conjunto de Propriedades</i>	104
4.9.4.	<i>Definição básica das Propriedades</i>	105
4.10.	LISTA DE VERIFICAÇÃO DA AMPLIAÇÃO DO IFC.....	106
5.	DADOS PREVISTOS NOS PADRÕES DE INTERCÂMBIO DE DADOS DE LUMINÁRIAS	109
5.1.	IES LM-63	109
5.2.	OUTROS FORMATOS EXISTENTES	116
5.2.1.	<i>CIBSE TM14:1988</i>	117
5.2.2.	<i>CIE 102-1993</i>	120
5.2.3.	<i>EULUMDAT</i>	120
6.	DADOS DA LUMINÁRIA NECESSÁRIOS AO AEC	124
6.1.	CARACTERÍSTICAS E RELAÇÕES, DO PONTO DE VISTA DO CÁLCULO DE ILUMINAÇÃO.....	125
6.2.	O MÉTODO LÚMEN	125
6.2.1.	<i>Refletância das Superfícies da Sala</i>	129
6.2.2.	<i>Razão da Cavidade da Sala (Room Cavity Ratio - RCR)</i>	129
6.2.3.	<i>Razão da Cavidade do Teto (Ceiling Cavity Ratio - CCR)</i>	129
6.2.4.	<i>Razão da Cavidade do Piso (Floor Cavity Ratio - FCR)</i>	130
6.2.5.	<i>Refletância Efetiva das Cavidades</i>	130
6.2.6.	<i>Fator de Utilização (FU)</i>	130
6.2.7.	<i>Fator de Perda de Luz (Light Loss Factor: LLF)</i>	131
6.2.8.	<i>Fator do Reator (Ballast Factor - BF)</i>	131
6.3.	CÁLCULOS PARA OBTENÇÃO DO FATOR DE UTILIZAÇÃO	134
6.4.	TESTE DOS DADOS NA OBTENÇÃO DO FATOR DE UTILIZAÇÃO.	141
7.	IFC X MÉTODO LÚMEN E IFC X IES LM-63	145

7.1.	CLASSES DO IFC QUE PREVÊEM OS DADOS NECESSÁRIOS AO MÉTODO LÚMEN	145
7.2.	CLASSES DO IFC QUE PREVÊEM OS DADOS DA LUMINÁRIA SEGUNDO O IES LM-63.	152
8.	PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO DO IFC	166
9.	CONCLUSÃO	174
	LISTA DE REFERÊNCIAS	177
	APÊNDICE A	
	APÊNDICE B	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de caminhos possíveis para definição da luminária no IFC (desenho do autor) ...	11
Figura 2 - Esquema de análise (desenho do autor).....	13
Figura 3 - Características internas fortes (desenhos do autor).....	14
Figura 4 - Níveis de especialização das informações sobre um objeto (fonte: do autor)	16
Figura 5 - Esquema da relação (fonte: do autor)	18
Figura 6 - Esquema representação x estrutura no modelo. (fonte: do autor).....	32
Figura 7 - Diversas fontes de informação no campo de AEC (fonte: figuras extraídas de bancos de imagens da Internet e organizadas pelo autor).....	36
Figura 8 - Princípio das camadas da Arquitetura IFC (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor).....	41
Figura 9 - Esquema geral da Arquitetura do IFC (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor).	42
Figura 10 - Extensões do Núcleo das Classes Núcleo, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor).....	44
Figura 11 - Raiz e as primeiras classes em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC).....	47
Figura 12 - Diferenças entre as relações no IFC (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor) .	48
Figura 13 - Árvore de subtipos de <i>IfcObject</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)....	50
Figura 14 - <i>IfcProduct</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)	51
Figura 15 - <i>IfcProcess</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)	52
Figura 16 - <i>IfcControl</i> , <i>IfcResource</i> , <i>IfcGroup</i> e <i>IfcActor</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC).....	53
Figura 17 - <i>IfcProject</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)	55
Figura 18 - <i>Relacionamento por Atribuição e Relacionamento de Associação</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)	58
Figura 19 - <i>Relacionamento de Decomposição</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC).....	61
Figura 20 - <i>Relacionamento de Definição</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)	62
Figura 21 - <i>Relacionamento de Conexão</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC) .	64
Figura 22 - Árvore de Subtipos da classe de <i>Definição de Propriedades</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)	67
Figura 23 - Anexação de <i>Definição de Conjuntos de Propriedades</i> , em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC).	70
Figura 24 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto de extensão (fonte: documentação do IFC traduzido pelo autor).....	76
Figura 25 - Conceitos analisados ao ampliar o Modelo IFC (desenhos do autor)	77
Figura 26 - Conceitos existentes no Modelo IFC (desenhos do autor).....	77
Figura 27 - Conceitos que ampliam o Modelo IFC (desenhos do autor).....	78
Figura 28 - Novos conceitos sobrepostos ao Modelo IFC (fonte: do autor).....	79

Figura 29 - Subtipos além dos limites do esquema, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor).....	80
Figura 30 - Relacionamento muitos para muitos não resolvido. Ilustração e EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor).....	82
Figura 31 - Classe de relacionamento resolvendo um relacionamento muitos para muitos. Ilustração e EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor).....	83
Figura 32 - Classe de relacionamento de classes existentes como um atributo relacionado, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC).....	84
Figura 33 - Traçando a estrutura de heranças até o <code>IfcRoot</code> (fonte: documentação do IFC).....	87
Figura 34 - Identificando cadeias de atributos. Informações apresentadas em Express (fonte: documentação do IFC).....	89
Figura 35 - Extrair listas de subtipos. Informações em EXPRESS (fonte: documentação do IFC). 90	
Figura 36 - <code>IfcRoot</code> como um supertipo comum (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor).....	91
Figura 37 - Interpretação do sistema de coordenadas (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor).....	95
Figura 38 - Classes ‘nós-folha’ (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor).....	96
Figura 39 - Apresentação do XML de um <i>Conjunto de Propriedades</i> no Programa de acesso à Internet (fonte: captura de imagem da documentação do IES)	100
Figura 40 - Folha de Trabalho do Conjunto de Propriedades (fonte: captura de imagem da documentação do IES).....	102
Figura 41 - Tipos da orientação da distribuição fotométrica (A, B e C respectivamente). Representação da luminária e dos planos fotométricos (fonte: imagem retirada da Internet e adaptada pelo autor).....	114
Figura 42 - Esquema da divisão das cavidades zonais (desenho do autor)	128
Figura 43 - Zonas de ângulos sólidos (fonte: do autor adaptada de REA, 1993)	135
Figura 44 - Ângulos usados no cálculo (fonte: do autor adaptada da documentação do IES).....	136
Figura 45 - Janela de cálculo do programa de interpretação do formato IES (fonte: captura de tela de programa elaborado pelo autor).....	142
Figura 46 - Dois exemplos da janela de apresentação dos dados e gráficos do programa de interpretação do formato IES (fonte: captura de tela de programa elaborado pelo autor)	144
Figura 47 - Proposta de <code>Pset_SpaceLightingRequirements</code> – acréscimo de <code>SpaceMaintenanceFactor</code> (fonte: captura de imagem da documentação do IFC modificada pelo autor).....	169
Figura 48 - Proposta de <code>Pset_LightFixtureTypeCommon</code> – acréscimo de várias propriedades e retirada de <code>NumberOfSources</code> (fonte: captura de imagem da documentação do IFC modificada pelo autor).....	170
Figura 49 - Proposta de novo <code>Pset_ControllerType</code> com nova propriedade <code>LampBallastFactor</code> (fonte: captura de imagem da documentação do IFC modificada pelo autor).....	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Campos do formato LM-63	110
Tabela 2 - Trecho do IES LM-63 apresentando os comentários.....	112
Tabela 3 - Índice geometria lâmpada-luminária no IES LM-63 (desenhos do autor).....	113
Tabela 4 - Trecho do IES LM-63 apresentando os dados relativos aos fatores multiplicadores	113
Tabela 5 - Códigos e respectivos tipos de aberturas das luminárias conforme o IES LM-63.....	115
Tabela 6 - Campos do formato CIBSE TM14:1988	117
Tabela 7 - Campos do formato EULUMDAT	122
Tabela 8 - Exemplo de refletâncias típicas aproximadas (fonte: REA, 1993)	130
Tabela 9 - Porcentagem efetiva de refletância da cavidade do teto ou do piso (pcc ou pfc conforme se entra com pc ou pf) para várias combinações de refletâncias típicas (fonte: REA, 1993)	132
Tabela 10 - Fatores de multiplicação para refletâncias efetivas da cavidade do piso diferentes de 20% (fonte: REA, 1993).	133
Tabela 11 - Fatores de Utilização típicos para um tipo de luminária (fonte: REA, 1993).....	134
Tabela 12 - Classes IFC que prevêem dados para o cálculo segundo o Método Lúmen	148
Tabela 13 - Desdobramento das Classes IFC que prevêem dados para o cálculo segundo o Método Lúmen.....	151
Tabela 14 - Proposta de índice geometria lâmpada-luminária do IES LM-63 (desenhos do autor) ...	153
Tabela 15 - Códigos e respectivos tipos de aberturas das luminárias conforme o IES LM-63.....	153
Tabela 16 - Centro fotométrico, em função do tipo de luminária e da distribuição do fluxo luminoso (fonte: IESNA LM 41-98)	154
Tabela 17 - Campos previstos pelo IES LM-63-2002	154
Tabela 18 - Campos criados por fabricantes, previstos pelo IES LM-63-2002.....	155
Tabela 19 - Hierarquia do IfcLightFixtureType.....	155
Tabela 20 - Explicação da Hierarquia (subtipos) da classe IfcLightFixtureType	156
Tabela 21 - Enumeração de tipos predefinidos para o IfcLightFixtureType.....	156
Tabela 22 - Hierarquia do IfcLampType.....	157
Tabela 23 - Explicação da Hierarquia (subtipos) da classe IfcLampType	158
Tabela 24 - Enumeração de tipos predefinidos para o IfcLampType (fonte: documentação do IFC)	159
Tabela 25 - Trecho da Tabela 12 apresentando as faltas de <i>Conjuntos de Propriedades</i> ou <i>propriedades</i>	162
Tabela 26 - <i>Conjunto de Propriedades</i> Pset_LampEmitterTypeCommon (fonte: documentação do IFC).....	163
Tabela 27 - <i>Conjunto de Propriedades</i> Pset_LightFixtureTypeCommon (fonte: documentação do IFC).....	165

LISTA DE ABREVIATURAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
ANSI	American National Standards Institute
API	Application Programming Interface
ARMILLA	Nome de um projeto que agrega diversos outros na área de CAAD iniciado pelo prof. Fritz Haller, Universidade de Karlsruhe.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATLAS	Architecture, Methodology and Tools for Computer-Integrated Large-Scale Engineering
BDA	Building Design Advisor
BDS	Building Description System
CAAD	Computer Aided Architectural Design
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
CIM	Computer Integrated Manufacturing
DDL	Data Definition Language
DXF	Drawing eXchange Format
EDM	Engineering Data Model
EXPRESS	Nome da linguagem de modelagem de informações definida na ISO 10303-11 para ser usada na definição de modelos de intercâmbio de dados relacionados a produtos manufaturados e plantas de processos.
EXPRESS-G	Linguagem EXPRESS na forma gráfica (desenhos).
GF	Gerenciamento de Facilidades
GARM	General AEC Reference Model
GLIDE	Graphical Language for Interactive Design
IAI	International Alliance for Interoperability
IDM	Integrated Data Model
IES LM-63	IES Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
IFC	Industry Foundation Classes
IGES	International Graphics Exchange Standard
IRMA	Integration Reference Model Architecture
ISO	International Organization for Standardization (ver nota 5)
ITM	International Technical Management Committee
MSG	Model Support Group
PDES	Product Data Exchange using STEP
PDU's	Product Definition Units
RATAS	Nome do modelo de produto de edificação elaborado por organizações profissionais das indústrias da Finlândia.
SET	Standard d'Exchange et de Transfert
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
VDA/FS	Verband der Deutschen Automobilindustrie – Flächenschnittstelle
VRML	Virtual Reality Modeling Language
XML	eXtensible Markup Language

1. INTRODUÇÃO

Para que um modelo de informações relacionadas à AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) seja útil, do ponto de vista da iluminação artificial, é necessário ter um conjunto bem definido de informações específicas sobre as luminárias.

Esse conjunto tem que ser de fácil acesso para que rapidamente seja consultado e editado. Por isso, as informações não podem simplesmente estar espalhadas no modelo.

Para que muitos indivíduos possam trabalhar com um conjunto único de informações é preciso padronizá-las. Padronizar significa, entre outras coisas, entrar em acordo, o que não é fácil de se conseguir já que cada usuário das informações pode avaliar de maneira diferente a importância delas.

Um modo de garantir o acordo sobre as informações é vinculá-las ao máximo à natureza do objeto e à sua finalidade, que são conceitos objetivos, restringi-las a um núcleo mais abstrato e permitir que as especificações sejam feitas conforme as necessidades do momento. Também é necessário prever modificações na medida em que se conheça melhor o objeto e se necessitem outras informações e até mesmo sejam descartadas algumas que já não são necessárias.

O estudo das informações relativas ao ciclo de vida de um produto, tendo em vista a sua elaboração, a sua construção, a sua manutenção, etc., leva naturalmente à noção de modelo e, conseqüentemente, a diversas abordagens teóricas sobre o conceito de modelo. [Ziga Turk \(2001\)](#) expõe essa diversidade da seguinte maneira:

«O termo modelo possui muitos significados como: “uma comum representação em miniatura de algo”, “uma descrição ou analogia usada para ajudar a visualizar algo” e “um exemplo para imitação e emulação”. É uma abstração, simplificação ou idealização da realidade que pode ser usada para reconhecimento, simulação ou como um protótipo. Um termo mais cauteloso substituindo “realidade” é “original” ou “universo do discurso” (UoD) uma vez que ele não precisa ser algo real ou tangível. O processo durante o qual os modelos são criados é chamado modelagem. Um indivíduo que produz um modelo é um modelador. Um modelo formal é um modelo codificado em uma forma

adequada, normalmente utilizando uma linguagem matemática ou lógica.»¹ (sublinhado ausente no original)

Nessa citação estão assinaladas algumas palavras-chave, muito utilizadas para definir modelo, mas que podem causar alguma confusão. Para esclarecer como esse trabalho vai abordar o conceito de modelo é preciso perceber que as diversas abordagens têm um único objetivo de descrever de forma útil (“...that can be used...”) os elementos que compõem uma ou várias etapas do ciclo de vida de um produto.

De forma simplificada, pode-se dizer que para se chegar a uma descrição útil de um produto qualquer, o caminho é: escolher um *subconjunto* de características relevantes (abstração), estruturá-las (modelagem) e apresentá-las (representação).

Sendo assim, o **Modelo** é o resultado da fase de estruturação das características, ao qual só se pode ter acesso através de uma **Representação**. Por causa disso, é muito comum encontrar na literatura científica, e até mesmo na linguagem vulgar, a fusão dos dois conceitos, embora se possa identificá-los separadamente.

Os elementos abstraídos do objeto real (*original* ou do *universo do discurso*, conforme a citação), com a finalidade de criar um modelo, assumem uma hierarquia bem determinada, muito associada à fidelidade que se deseja em relação ao objeto real, e aos resultados que se desejam obter a partir da manipulação do modelo. Por exemplo: uma maquete de um navio é uma representação física do modelo do navio real; se essa maquete vai ficar dentro de uma garrafa como um objeto decorativo, então as características mais importantes serão a fidelidade das formas, das cores e das texturas, etc. com relação ao navio original; se a maquete vai servir para testar a

¹ «The term model has many meanings including "a usually miniature representation of something", "a description or analogy used to help visualize something" and "an example for imitation or emulation". It is an abstraction, simplification or idealization of reality that can be used for realization, simulation or as a prototype. A more cautious term instead of "reality" is "original" or "universe of discourse" (UoD) because it does not imply anything real or tangible. The process during which models are created is called modelling. A person making a model is a modeler. A formal model is a model that is encoded in a proper form, usually using mathematical or logical language.» Nomes originais do modelo: courier normal

resistência em um tanque de provas, então outras características devem ser colocadas em primeiro plano.

Um modelo é produzido com base em algum substrato (ou alguns substratos), que depende do tipo de representação, ou seja, por exemplo, uma **maquete** é uma representação material ou física, já uma **descrição** é uma representação formal ou lógica. O meio utilizado para plasmar o modelo o qualificará e o distinguirá.

Também é preciso distinguir, já dentro de um mesmo substrato utilizado para plasmar o modelo, o **ponto de vista** ressaltado pela modelagem. Assim sendo, por exemplo, um **modelo geométrico** ressalta as características geométricas (medidas, proporções, regras de construção, etc.), enquanto um **modelo químico** ressalta a composição química dos objetos modelados.

Cabem ainda mais especificações nos modelos na medida em que se restrinja cada vez mais o foco da sua utilização. Por exemplo, quando se fala de **modelo de informações** se quer fazer referência a que a representação do modelo se fará somente através das informações que se obtêm do objeto real. A expressão **modelo de dados** significa que essa representação trataria as informações com um pouco mais de precisão quando as inclui dentro de um determinado conceito e permite que a informação seja guardada e acessada com segurança dentro de uma estrutura. Por exemplo: dentro do conceito dimensões, a largura, o comprimento, a altura, são dados descritivos do objeto real que podem ser arranjados na forma de uma tabela, com um índice e com relações com outros conceitos paralelos, agrupadas, etc.

Mais especificamente, no campo da computação, apresenta-se o modelo de dados como *“O produto do processo de projeto de banco de dados que procura identificar e organizar os dados requeridos, logicamente e fisicamente. Um modelo de dados diz qual*

*informação pode estar contida em um banco de dados, como a informação será usada, e como os itens dentro do banco de dados se relacionarão entre si”.*² (ULLMAN, 1988).

No campo de AEC (Arquitetura, Engenharia Civil e Construção), o IFC (*Industry Foundation Classes*) é um **modelo de dados** do ciclo de vida da edificação. Atualmente se apresenta como a proposta mais ampla, consistente, efetivamente utilizada, e aberta a contribuições dos pesquisadores, como se pode conferir em (TARANDI, 2003) ou em (FROESE, 2003), entre outros.

Um passo a mais na terminologia sobre modelos, do ponto de vista computacional, é o conceito de **modelo de objetos**, que significa um arranjo feito de tal forma que o modelo de dados passa a ter um reforço de segurança da manipulação dos dados e consistência dos mesmos, conforme indica Rumbaugh (1991). O modelo IFC aproxima-se formalmente do modelo de objetos, embora não implemente todas as suas características.

O modelo IFC contempla o elemento **luminária** dentro do que se chama Esquema de Domínio Elétrico. No entanto, verifica-se que é um dos elementos que ainda necessitam uma descrição mais detalhada, cuja contribuição dos pesquisadores seria de grande proveito. A IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*), o CIBSE (*Chartered Institution of Building Services Engineers*), a CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*), e as empresas da área de iluminação, têm muito a contribuir nesse sentido, na medida em que já desenvolveram um trabalho de definição das informações relativas às luminárias. A IESNA possui o estudo mais atualizado e que aproveita os resultados dos outros desenvolvimentos, apresentado em (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA, 2002). Esse trabalho resultou em um “Formato de Arquivo Padrão para a Transferência de Dados Fotométricos e Informações Relacionadas” (*Standard File*

² “The product of the database design process which aims to identify and organize the required data logically and physically. A data model says what information is to be contained in a database, how the information will be used, and how the items in the database will be related to each other.”

Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information), também conhecido por IES LM-63.

1.1. Objetivo

O objetivo desse trabalho é propor uma extensão para o Modelo IFC na qual se inclui uma especificação mais ampla e mais útil para o elemento luminária. Essa extensão ou ampliação do Modelo IFC tem a finalidade de tornar efetivo o uso do Modelo IFC em aplicações relativas à iluminação tanto no que se refere aos cálculos luminotécnicos quanto à manipulação de informações sobre esse importante e imprescindível componente construtivo, ao longo do ciclo de vida da edificação.

O elemento luminária e as diversas ligações necessárias com os outros elementos do modelo serão tratados na proposta de ampliação, tendo como base o trabalho desenvolvido pela IESNA. Será necessário harmonizar as exigências do modelo IFC com as novas necessidades que surgem a partir do estudo detalhado do IES LM-63 e do cálculo de iluminação que utilizará os dados procedentes do modelo.

1.2. Justificativa

A luminária é um elemento importantíssimo para AEC, e muito usado já desde as fases mais remotas do ciclo de vida de uma edificação, quando, por exemplo, se fazem os cálculos para a previsão da demanda de energia.

O IFC é um modelo que já está em elaboração há um bom tempo e permite ampliações e acréscimos. Atualmente encontra-se em uso por muitos profissionais e conta com colaborações de diversas subáreas de AEC. No entanto, ele ainda não tem uma boa abordagem da luminária.

Ao propor uma ampliação do modelo IFC contendo uma abordagem mais detalhada da luminária, se conseguirá o acompanhamento mais rápido, mais preciso, mais adaptável e atualizável, do ciclo de vida do sistema de iluminação artificial de uma edificação. A melhor definição da luminária durante o projeto, o controle mais

exato da sua instalação e da sua manutenção, são benefícios imediatos dessa modelagem. A facilidade para trabalhar com modelos diferentes de luminárias, mais econômicas, mais conformes ao uso do local, são outras vantagens que se podem prever.

Sem iluminação um ambiente não tem uso. Um modelo que não contemple adequadamente a luminária, não dará um bom suporte ao projeto de iluminação, à sua instalação, à sua manutenção, em resumo, ao ciclo de vida do sistema de iluminação de uma edificação. Sem uma boa iluminação o uso continuado do espaço causa grandes prejuízos aos usuários. Um projeto e uma execução mal feitos resultam em uma iluminação inadequada ou, pelo menos, levam a gastar mais do que o necessário.

Além das vantagens acima mencionadas, ao propor uma ampliação ao modelo IFC se contribuirá para a elaboração desse modelo de dados de âmbito internacional, que atualmente está em franca evolução e já em aplicação útil por um grande número de usuários de reconhecido valor. Conhecer bem e apresentar os passos de uma proposta de ampliação do modelo IFC fornecerá um caminho aos pesquisadores da área, especialmente no Brasil, e abrirá caminhos para novas contribuições.

Fazer uma proposta como essa representa um trabalho complexo uma vez que a luminária é um sistema, feito de várias partes e com características de projeto complexas, muito estudadas e controladas pelos fabricantes, e extremamente manipuladas pelos projetistas, pelos executores do projeto e pelos responsáveis pela manutenção da edificação.

O modelo IFC procura ser o mais completo possível, para ser o mais universal. Portanto, deve prever todos os elementos necessários para que a sua utilização seja realmente vantajosa para os indivíduos atuantes no ciclo de vida de uma edificação.

A proposta de ampliação deve contemplar todas as idéias já envolvidas no modelo, incluindo todos os relacionamentos com as diversas partes, sem acrescentar

complicações ou detalhamentos desnecessários. É preciso justificar bem a proposta, submetê-la a testes e verificar as vantagens, antes de confirmá-la.

Já existem estudos muito elaborados sobre os dados necessários para as luminárias, com várias propostas de conjuntos de dados para intercâmbio de informações sobre esse elemento.

O Modelo IFC é o resultado de um trabalho internacional promovido pela IAI (*International Alliance for Interoperability*), entidade que surgiu motivada pela necessidade de promover a **interoperabilidade**, ou seja, criar meios e dar suporte ao trabalho em conjunto dos diversos indivíduos intervenientes no ciclo de vida de um produto (no caso, a edificação), tornando essa tarefa mais segura e mais eficiente. (MODEL SUPPORT GROUP, 2004)

Essa interoperabilidade pode ser entendida também do ponto de vista cronológico, ou seja, quando as atividades são realizadas simultaneamente. Um bom suporte de dados se torna necessário para o sucesso dessas atividades, conforme ressalta Melhado (2001):

“Um dos recursos que permitem esse desenvolvimento simultâneo é o emprego da informática, com intenso compartilhamento de dados entre todos os especialistas.”

Ou Fabricio; Melhado (2001):

“...podem-se identificar três vertentes integradas de transformação necessárias para viabilizar a integração “simultânea” das etapas do processo de desenvolvimento e projeto de edifícios...

Por fim, a última vertente se relaciona à apropriação das novas tecnologias de informática e telecomunicações como ferramentas que facilitam a comunicação virtual a distância e permitam um novo ambiente cognitivo para o processo de projeto.”

Além da simultaneidade que é muitas vezes expressa por “Engenharia Simultânea” (*Concurrent Engineering*), outros termos utilizados para destacar a capacidade de trabalhar em conjunto e ao mesmo tempo, apresentados por Kvan (2000) são: Projeto Colaborativo (*Collaborative Design*) ou, ao ressaltar a necessidade de um suporte computacional, o Trabalho Cooperativo apoiado por Computador (*Computer-Supported Cooperative Work – CSCW*).

O IFC atualmente é o **modelo de dados** do ciclo de vida da edificação que apresenta uma das melhores possibilidades de sucesso conforme, entre outros, [Tarandi \(2003\)](#) e [Froese \(2003\)](#). Consiste, em linhas gerais, de uma estrutura de informações que pode ser utilizada em qualquer aplicação dirigida ao trabalho de AEC com a vantagem de ser um modelo comum e compartilhável, facilitando o trabalho de comunicação entre os vários indivíduos intervenientes nos processos que compõem o ciclo de vida da edificação. Trata-se de um modelo aberto, em contínua evolução, apesar de já ter uma estrutura mínima central mais definida e até certo ponto rígida.

Esse modelo amplo não é um modelo acabado, no sentido em que ele não abarca todas as possibilidades de informações relativas à AEC, e talvez nunca chegue a abarcar uma vez que muitos dos seus elementos continuamente se transformam. Ele prevê uma quantidade muito grande de possibilidades, e até mesmo prevê futuros incrementos. Uma grande vantagem desse modelo é justamente a sua adaptabilidade e evolutividade.

Não sendo um modelo acabado, alguns elementos estão bem detalhados, outros minimamente detalhados, outros simplesmente esboçados, e outros somente mencionados.

Já podem ser identificados vários esforços para auxiliar na evolução do IFC. Um exemplo é apresentado por [Wan; Chen; Tiong \(2004\)](#) com um projeto de pesquisa realizado em conjunto entre *Nanyang Technological University* e o *Singapore Institute of Manufacturing Technology*, cujo objetivo é propor uma extensão para o modelo IFC segundo as exigências de aplicativos da área de estruturas. Outro exemplo é apresentado por [Chen et alii \(2005\)](#) com a implementação de um servidor web baseado no IFC para auxiliar o intercâmbio de informações sobre estruturas entre os arquitetos e os engenheiros. Vários outros exemplos de contribuições ao IFC podem ser encontrados em ([FROESE et alii, 1999](#)), ([YU; FROESE; GROBLER, 2000](#)), ([HALFAWY; FROESE, 2002](#)) ([KATRANUSCHKOV; GEHRE; SCHERER, 2003](#)), ([KIM; LIEBICH; KIM, 2003](#)), ([OWOLABI et alii, 2003](#)), ([RÖNNEBLAD; OLOFSSON, 2003](#)), ([WEISE et alii,](#)

2003), (YANG, 2003), e projetos em andamento que utilizam o IFC como base ou dão suporte ao uso dele, como o *Ifc Model Based Operation and Maintenance of Buildings (Ifc-mBomb)*, *PROIT: Product Model Data in the Construction Process*, que podem ser encontrados na página da internet da IAI (www.iai-international.org), ou o *IFC Model Server Development Project* apresentado em Adachi (2005).

No caso das informações relativas às luminárias o modelo IFC proporciona, atualmente, detalhes insuficientes. Esse trabalho apresentará a proposta de um maior detalhamento do objeto luminária, e as vantagens do seu uso, através de algumas aplicações concretas de uso comum no projeto de edificações.

Como resultado final desse trabalho, e uma vez que o modelo prevê essa possibilidade, se fará a proposta formal da ampliação (ou extensão) do modelo, conforme as indicações que preconiza a IAI para esse tipo de tarefa.

1.3. Metodologia

O esquema IFC em que a classe luminária se encaixa mais adequadamente é o de *Domínio Elétrico*³, pois é ali que se encontram os objetos em contato direto com o usuário nesse âmbito de AEC. O esquema de *Elementos de Serviço Compartilhados* tem que dar suporte a essa nova classe e o faz através de classes supertipo, no caso, o **IfcFlowTerminal**.

Para especificar uma classe **IfcFlowTerminal** de tal forma que ela passe a descrever uma luminária, ou seja, fazer que um **terminal de fluxo** represente um **terminal de fluxo de luz**, também conhecido por **luminária**, o IFC permite duas possibilidades: (1) através de um **relacionamento de definição por propriedades (IfcRelDefinesByProperties)** que vincula a classe

³ Neste trabalho adotou-se uma notação em que os nomes originais do modelo IFC utilizam a fonte **Courier New normal**, os nomes traduzidos do modelo IFC, a fonte **Courier New itálico**, as palavras em Inglês, a fonte **Times New Roman itálico** e as palavras que exprimem conceitos mais específicos na tese, mas que no uso comum podem ter outro significado mais amplo, a fonte correspondente ao local no texto formatada em **negrito sublinhado**.

IfcFlowTerminal a um *Conjunto de Propriedades* específicas da luminária, ou (2) através de um *relacionamento de definição por tipo* (**IfcRelDefinesByType**) que vincula a classe **IfcFlowTerminal** a uma classe de tipo de objeto, que pode ser uma nova classe chamada **IfcLuminaireType**, e que, por sua vez, conteria, como atributo, uma lista de *Conjuntos de Propriedades* específicas da luminária. Uma alternativa à **IfcLuminaireType** é usar a classe existente no IFC **IfcLightFixtureType**, desde que seja adaptada.

Dentro do Esquema de *Domínio Elétrico* do IFC existem classes para tipo de fixação de luz e para tipo de lâmpada (**IfcLightFixtureType** e **IfcLampType**), que são classes que se referem diretamente à luminária. No entanto, esses tipos possuem *Conjuntos de Propriedades* que ainda não fornecem todos os dados necessários para definir a luminária. Seria preciso propor uma nova classe de tipo, que poderia chamar-se **IfcLuminaireType**, que possua um *Conjunto de Propriedades* com os dados necessários para definir bem uma luminária. Outra opção é propor um *Conjunto de Propriedades* para **IfcLightFixtureType** que corresponda mais precisamente à luminária. A Figura 1 resume as definições possíveis para a luminária no IFC.

Para conhecer todos os dados necessários à definição de uma luminária há dois caminhos possíveis: (1) identificar os dados da luminária necessários às tarefas ou aplicações relacionadas à iluminação em AEC e/ou (2) aproveitar estudos sobre os dados relativos às luminárias já elaborados por organizações profissionais ligadas à área de iluminação.

Propõe-se apoiar a proposta no segundo caminho (no. 2 acima) e utilizar o primeiro (no. 1 acima), em um caso particular mais abrangente, como um modo de guiar e verificar se os dados estão realmente bem selecionados.

Figura 1 – Exemplo de caminhos possíveis para definição da luminária no IFC (desenho do autor)

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS INFORMAÇÕES RELATIVAS AOS OBJETOS DE UMA EDIFICAÇÃO

O detalhamento do ciclo de vida de uma edificação é uma tarefa trabalhosa e depende muito do nível de profundidade que se deseja. Concentrando a atenção em uma das inúmeras linhas de atividade envolvidas nesse ciclo, como o processo de Projeto do Produto, se pode ter um exemplo da manipulação das informações que conduzem ao produto **Edificação**.

O Projeto do Produto Edificação começa em um momento em que o edifício não existe a não ser na teoria, ou seja, em forma abstrata. Já no início do projeto essa forma abstrata é baseada em informações abstraídas de objetos concretos como o terreno, o sol, os ventos dominantes, a infra-estrutura urbana, o custo, etc., ou em elementos abstratos como as regras urbanísticas, o programa de necessidades, etc. As primeiras definições do projeto são abstratas como a localização, o volume geral, a orientação das fachadas, etc. O edifício só começará a se tornar presente no mundo real, deixar de ser uma abstração, quando o primeiro elemento material for posicionado no terreno. Só poderá ser considerado um **edifício qualquer** quando o posicionamento de um conjunto funcional mínimo de elementos constitutivos for atingido e será o **edifício projetado** quando esse conjunto chegar a ser suficientemente completo e conforme as previsões do projeto.

No entanto, seria um erro dizer que essas primeiras definições não são reais, apesar de serem abstratas. Elas podem não produzir diretamente o objeto ao qual fazem referência, mas fazem parte das características necessárias para que o objeto se torne presente no mundo real. Todo objeto possui um número muito grande de características, mas algumas delas se destacam por terem uma ligação mais direta com a própria definição do objeto por um lado, e com o contexto no qual o objeto está inserido por outro. Por exemplo: para definir uma cadeira é preciso que se especifiquem as dimensões, o material, os aspectos construtivos, etc. (objeto em si), e para que essa cadeira esteja em uma sala é preciso dizer também que ela está em uma determinada posição da sala (objeto com relação ao seu contexto).

Ao relacionar o objeto a um determinado campo de estudo ou de utilização das informações, muitas características não são relevantes nem na definição dos objetos nem com relação ao contexto. Em outras palavras, apesar de um objeto ser constituído de muitas características, só algumas delas são relevantes em um determinado campo de ação. Por exemplo, para fabricar a cadeira são necessários: as dimensões, o material, os aspectos construtivos, o acabamento, mas, habitualmente, não é preciso saber qual o tipo de terra em que a árvore que produziu a madeira foi plantada – essa característica seria importante no estudo de um biólogo, mas não propriamente para o fabricante de móveis.

Assim sendo, para estabelecer quais as informações necessárias para a definição do **objeto** (ou **produto**) Edificação em um momento do seu ciclo de vida (Projeto do produto, por exemplo), é necessário delimitar um conjunto mínimo de dados imprescindíveis relacionados ao objeto e ao contexto, procurando a interseção dos dois (Figura 2).

Figura 2 - Esquema de análise (desenho do autor)

2.1. Características do objeto em si mesmo

Observando o objeto separadamente, sem o contexto e falando de uma maneira genérica, podem-se identificar dois tipos de características que o definem: as características **internas** e **externas**.

As **características internas** são partes da constituição material do objeto, que ele não tem como deixar de tê-las ou são características **fixas**. Embora, para que o objeto exista nem todas elas sejam necessárias, algumas delas são tão importantes

que se pode dizer que sem elas o objeto deixaria de ser um para ser outro. Por exemplo: uma cadeira que não tivesse encosto passaria a ser banco, se não tivesse assento passaria a ser suporte, se as suas dimensões fossem insuficientes passaria a ser objeto decorativo, e assim por diante (Figura 3).

Figura 3 - Características internas fortes (desenhos do autor)

As **características externas** são partes da **possibilidade** de relação do objeto com o contexto, embora essa relação ainda não exista **em ato**. Essas características são variáveis, pois dependem do contexto. Da mesma forma como acontece com as características internas, algumas características externas podem ser tão fortes que se tornem essenciais na definição do objeto. Por exemplo: uma cadeira tem que suportar um determinado esforço proveniente do uso, não menos do que isso; ela pode possuir diversos acabamentos, mas alguns não, etc.

Em resumo, as características internas e externas de um objeto podem ser **fracas** (contingentes) ou **fortes** (necessárias). Sempre dentro de um determinado **ponto de vista**.

		<u>Exemplos:</u>
Características	Internas	Fortes Dimensões mínimas da cadeira
		Fracas Para um fabricante: tipo de terra onde a árvore que produziu a madeira foi plantada
	Externas	Fortes Resistência mínima a esforços
		Fracas Estilo utilizado no desenho da cadeira

Muitas vezes é extremamente difícil determinar precisamente o **tipo** da característica. Isso leva a que se tenha que fazer uma opção que depende mais do âmbito da utilização das informações sobre o objeto, o que se pode chamar de **ponto de vista**. É comum que algumas características sejam vistas como *internas* em um âmbito e *externas* em outro, e até que a sua classificação mude com o tempo, com um entendimento maior, em uma aplicação diferente, etc., **dentro do mesmo âmbito**.

Por exemplo, do **ponto de vista do fabricante** os suportes laterais de uma cadeira não alterarão a sua definição principal, pois sem eles continuará a ser cadeira e com eles será uma cadeira com braços (característica interna fraca). Estes mesmos suportes laterais, sendo analisados do **ponto de vista do usuário**, podem servir para apoiar os braços ou são simplesmente delimitadores de espaço, o que modifica substancialmente a relação do usuário com o objeto (característica externa forte).

Com relação às mudanças dentro do mesmo âmbito, pode-se exemplificar quando consideramos os equipamentos modernos de tecnologia avançada que se tornam domésticos. Há pouco tempo não se sentia nenhuma necessidade de um forno de microondas em casa. Hoje em dia é preciso prever o local para ele em um projeto de cozinha. Passou de ser algo que se poderia ter, a algo quase imprescindível. Logo, uma cozinha que não tenha como característica a previsão do local para o forno de microondas será menos valorizada pelo usuário.

2.1.1. Níveis de especialização das características

As características, tanto internas quanto externas, podem definir o objeto, sob um mesmo **ponto de vista**, de maneira mais geral ou mais especificamente. Por

exemplo: uma cadeira pode ser **vista pelo projetista** como: 1) um elemento que ocupa volume no espaço, 2) um produto industrializado que precisa ser especificado para o setor de compras, 3) parte do mobiliário que deve estar em harmonia com o restante, 4) um conjunto de peças que serão determinadas por um projeto específico, etc. Todas essas definições podem ser de interesse no momento do projeto. Percebe-se um parentesco entre algumas dessas definições, ou seja, quando se especifica um determinado item do mobiliário conforme os padrões industriais, se entende que ele já é um volume no espaço e seria possível detalhá-lo melhor em um próximo momento. Esse parentesco, ou hierarquia de informações, pode ser nomeado como **nível de especialização** ou de **generalização**.

Quando se analisam os objetos em um momento do seu ciclo de vida é preciso fazê-lo em um mesmo **nível de especialização**, mas o mesmo momento do ciclo de vida admite subdivisões ou níveis intermediários de especialização (Figura 4). Assim sendo, quando, por exemplo, o projetista está estudando o volume geral da edificação, só interessam dados relativos às dimensões dos objetos e, quando o projetista quer definir o orçamento da obra, terá que dispor de informações adicionais como o tipo do objeto e o seu preço unitário. Nesse exemplo se pode perceber que não é necessário ter todas as informações desde o início, ainda que isso seja possível. Essa característica permite muita agilidade e flexibilidade à tarefa de um projeto quando o modelo de informações utilizado por ele prevê esses níveis de especialização.

Figura 4 - Níveis de especialização das informações sobre um objeto (fonte: do autor)

2.2. Relações entre o objeto e o seu contexto

Ao analisar o objeto dentro de um contexto, aparece uma nova forma de classificação baseada em uma entidade abstrata comumente chamada de **relação**. Quando a linguagem cotidiana faz referência a dois ou mais objetos, incorpora essa terminologia. Por exemplo: “A que distância essa cadeira deve ficar em **relação** à mesa?”, é uma forma de solicitar uma informação que não pertence a nenhum dos objetos separadamente, mas surge quando estes dois objetos são observados em conjunto, ou estão **relacionados** entre si.

Vale dizer, que no caso das **relações**, a abstração é mais complexa, pois necessita da existência do conjunto de objetos para ser aplicada. No entanto, a entidade **Relação** existe, ou seja, é possível, por exemplo, conhecer o conceito de LOCALIZAÇÃO sem que se aplique a dois objetos concretos. Essa consideração terá consequências práticas neste trabalho mais adiante.

Há muitos tipos de **relações** possíveis e uma boa parte delas, para não dizer todas, depende diretamente das características externas dos objetos, o que se pode depreender da própria definição das características externas. Sendo assim, as relações estão ligadas a **características fortes** ou **fracas**, conforme a sua natureza, o que leva a concluir que também as **relações** podem ser **fortes** ou **fracas**.

As relações também estão ligadas a um **ponto de vista**, portanto, por exemplo, ao considerar o ponto de vista do Projeto de Edificações, as **relações** se limitarão àquelas que tenham um significado relevante para o projetista.

A rede de **relações** entre os muitos objetos de uma edificação é bastante complexa, mesmo quando se considera somente sob um **ponto de vista**. Um mesmo objeto pode participar de diversas relações. Aqui está o ponto mais importante na elaboração de um modelo de informações adequado e eficiente: quando o modelo está bem equilibrado, constando as relações e, conseqüentemente, os objetos e características necessários e suficientes, a utilização dessas informações se torna rápida e segura.

E, por fim, as **relações** estão ligadas aos **níveis de especialização**. Em outras palavras, os objetos que se encontram em um mesmo **nível de especialização** possuem relações que se encontram nesse **nível de especialização** (Figura 5). Por exemplo: quando se define uma janela e uma parede na qual ela ficará (**relação** <parede-janela>), para definir bem a janela é preciso conhecer a espessura da parede, e não são necessárias informações sobre a cor da parede ou o índice de refração dela, ou seja, essa **relação** <parede-janela> é **necessária** no nível de definição das dimensões dos objetos. Portanto, existe uma **relação** nesse **nível de especialização**, que por sua vez é diferente de uma **relação** <parede-janela> que pode haver em um outro **nível de especialização**, por exemplo, quando forem definir a cor da parede é **importante** saber qual a cor da janela para combiná-las.

Figura 5 - Esquema da relação (fonte: do autor)

2.3. Modelo de Informações

O resultado da análise das características dos objetos e as suas relações, segundo um determinado ponto de vista, e a elaboração, a partir dessa análise, de uma estrutura de informações que auxilie a utilização delas na execução de uma ou várias tarefas, resulta em um **Modelo de Informações**.

A utilização dessas informações depende das tarefas que estão ligadas ao ponto de vista. Por exemplo, quando um projetista deseja aprovar na prefeitura um projeto, existe um conjunto de informações exigidas pela prefeitura: relatórios, cálculos de área, verificação do atendimento de diversas condições ou regras urbanísticas, etc. Para ajudar nessa tarefa o modelo tem que ser capaz de fornecer as informações necessárias de forma eficiente e segura e, normalmente, atua em conjunto com o sistema que utiliza as informações de maneira ágil, facilitando o trabalho do projetista especialmente em tarefas repetitivas, sujeitas a erros por desatenção ou cansaço.

O mesmo modelo de informações que é útil para uma tarefa seria útil para outras se incorporasse algumas informações a mais. Se no modelo do exemplo acima se incluíssem informações sobre o mercado imobiliário, cotações, ofertas, etc. o sistema poderia ser capaz de avaliar o valor de mercado de uma edificação e as possibilidades de reforma ou nova construção no terreno, em conformidade com a Prefeitura do local.

Assim sendo, prever as tarefas e aplicações possíveis permite a elaboração do modelo correspondentemente adequado.

2.4. Padronização da Informação em AEC

Sobre os problemas que surgem ao tentar desenvolver um padrão de intercâmbio de informações em AEC, [Tolman \(1999\)](#) afirma que: *“Em minha opinião, os anos que se seguem mostrarão que tanto o STEP quanto a IAI estão usando estruturas organizacionais obsoletas e tecnologias obsoletas que provarão não serem efetivas para a indústria de construção. Um conjunto de padrões cuidadosamente projetados para compartilhar, conservar, e intercambiar modelos de produtos AEC não devem ser esperados nesse século. A ISO não é a melhor organização para dirigir o processo de pré-padronização e não há sequer um consenso entre os pesquisadores que estão conduzindo os esforços. Como também não há um forte comprometimento de gerenciamento e não há*

verbas, não é realístico esperar que o STEP resolva os problemas da indústria. Mais ou menos o mesmo se pode dizer sobre o IAI-IFC.”⁴

Ainda que as previsões e afirmações de Tolman (1999) tenham sido contundentes, analisando-as mais detidamente se pode objetar que:

- a) Uma previsão até o fim do século em 1999 não permite uma avaliação maior dos esforços que estão sendo feitos;
- b) Uma organização sem fins lucrativos e com uma estrutura baseada na cooperação dos profissionais, como é a ISO (*International Organization for Standardization*⁵), normalmente não consegue atingir uma rápida evolução;
- c) A afirmação pouco precisa sobre o IAI-IFC (*International Alliance for Interoperability - Industry Foundation Classes*) pode ser encarada como um alerta para que a organização não se baseie nos moldes até então existentes para a sua proposta de modelo;

Sobre as soluções possíveis, , Tolman (1999) opina que:

“Claramente a solução terá que vir de outra fonte. Duas alternativas são factíveis. A primeira alternativa presume que nós abracemos a idéia de um padrão, mas procuremos uma organização muito mais forte. Os candidatos são a Comissão Européia, o G7, ou a ONU. Para que esse desenvolvimento seja possível nós precisamos envolver políticos. Os políticos desejarão ajudar se formos capazes de demonstrar-lhes os benefícios: melhores produtos AEC a custos mais baixos, condições trabalho mais salubres, menores impactos ambientais. Se pudermos convencê-los a que

⁴ “In my opinion the coming years will show that both STEP and the IAI are using outdated organizational structures and outdated technologies that will prove to be ineffective for the building and construction industry. A set of carefully designed standards for sharing, storing and exchanging AEC product models is not to be expected in this century. ISO is not the optimum organization to steer the pre-standardization process and there is not even consensus among the researchers that are carrying out the efforts. As there is also no strong management commitment and no funding, it is not realistic to expect that STEP will solve the industry's problems. More or less the same can be said about the IAI-IFC.”

⁵ Por causa das abreviações que podem ter “Organização Internacional para Padronização” nas diversas línguas, a organização decidiu desde o início usar uma derivação da palavra grega ISOS, que significa IGUAL. Dessa forma, em qualquer país o apelido da organização é o mesmo: ISO.

nenhum país, ou mesmo nenhum continente pode resolver o problema por si só, nós encontraremos apoio entre eles. A segunda alternativa é que nós abandonemos o desenvolvimento de um padrão, mas resolvamos o problema proporcionando um serviço. A tecnologia de comunicação (WWW, Corba, Java) permite que um provedor de serviços dê assistência aos participantes de um projeto de edificação e de construção através de um banco de dados de projeto distribuído e dedicado. O serviço pode ser ampliado para também dar suporte ao gerenciamento das informações do ciclo de vida do produto. Se um provedor de serviços é capaz de dar suporte à transferência de informações entre os mais populares subconjuntos de sistemas de CAxx usados na prática, há um mercado disposto a pagar. Essa segunda alternativa parece ser a mais promissora, porque o mecanismo do mercado fará o seu trabalho. Muitas companhias já estão centrando os seus esforços nesse sentido. Eu estou convencido que a primeira solução prática para o problema de integração será realizada nessa linha, mais do que no desenvolvimento unificado de padrões.”⁶

Apesar da opinião de [Tolman \(1999\)](#) sobre a solução para a padronização, nada impede que os dois caminhos sugeridos se interpenetrem. No entanto, parece bastante razoável que o trabalho comece pelas interações do mercado de ferramentas computacionais de apoio ao projeto.

[Weise et alii \(2003\)](#), afirmam que:

“Depois de aproximadamente sete anos de trabalho de desenvolvimento e uma quantidade de esforços anteriores de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico que proporcionaram as condições necessárias, o Industry Foundation Classes (IFC) da IAI agora está avançando rapidamente na direção de um padrão de indústria para intercâmbio de dados de produto e compartilhamento na indústria de AEC/GF aplicável na prática. A atual infra-estrutura de modelo IFC2x (Wix & Liebich 2001) define a estrutura básica para dar

⁶ “Clearly the solution will have to come from another source. Two alternatives are feasible. The first alternative assumes that we hold to the idea of a standard, but search for a much stronger organization. Candidates are the European Commission, the G7, or the UN. For such a development to be realized we need to involve politicians. Politicians might be willing to help if we can show them the profits: better AEC products at lower costs, healthier workforces, lesser environmental impact. If we can convince them that no single country, or even continent can solve this problem on its own, we may find support among their ranks. The second alternative is that we abandon the development of a standard, but solve the problem by providing a service. Communication technology (WWW, Corba, Java) allows a service provider to assist the participants of a building and construction project in setting up a dedicated and distributed project database. The service can be extended to support product life cycle information management as well. If a service provider is able to support information transfer between the most popular subset of CAxx systems used in practice, there is a market that is willing to pay. This second alternative seems the most promising, because there the market mechanism will do its work. Several companies are already focusing their efforts in this direction. I am convinced that the first practical solution to the integration problem will be realized along these lines rather than the unified development of standards.”

suporte a funcionalidades de CAD de aplicação geral e CAD para arquitetura, assim como alguns processos de gerenciamento de alto nível. No entanto, para proporcionar amplas características em níveis de detalhamento maiores nos domínios específicos de AEC/GF (arquitetura, engenharia estrutural, engenharia de serviços, levantamento de custos, gerenciamento de construção, etc.) e para possibilitar uma cobertura maior de um espectro mais amplo de fases do projeto de construção, são necessárias extensões de domínios específicos dessa estrutura básica. Assim sendo, o conceito de plataforma foi introduzido (Wix 2001). Ele define uma clara base para o desenvolvimento conceitual de modelos de domínios adicionais, assim como uma metodologia e um roteiro para a exploração desses desenvolvimentos na prática.”⁷

Isso demonstra que o trabalho do IFC continuou desenvolvendo-se até chegar a um estágio em que, além de se tornar algo efetivamente prático, abriu-se à possibilidade de contribuições, particularmente nas áreas mais específicas, ou seja, nos domínios de aplicações.

O que está acontecendo com o IFC foi a previsão de [Tolman \(1999\)](#) com relação aos serviços. A demanda por serviços de suporte ao projeto cresceu mundialmente, como constata [Howard \(2001\)](#), e para dar suporte às necessidades de compartilhamento é necessário um formato padronizado de informações. Essa necessidade de formato encontra no IFC uma resposta adequada, e o IFC vai se cristalizando como um padrão, não no sentido de se tornar algo duro, fixo, mas no sentido de que há uma convergência para um núcleo e uma estrutura de informações bem elaboradas de tal forma que se podem apoiar com segurança as aplicações de AEC.

⁷ “After nearly seven years of development work and a number of prior Research and Technology Development efforts that have provided the necessary background, the Industry Foundation Classes (IFC) of the IAI are now rapidly advancing towards a practically applicable industry standard for product data exchange and sharing in the AEC/FM industry. The current modelling framework IFC2x (Wix & Liebich 2001) defines the basic structure to support general-purpose and architectural CAD functionality, as well as some high-level management processes. However, to provide comprehensive features at more detailed discipline levels in the separate AEC/FM domains (architecture, structural engineering, building services engineering, cost survey, construction management etc.) and to enable better coverage of a broad range of construction project phases, specific domain extensions to this basic structure are needed as well. Therefore, the platform concept has been introduced (Wix 2001). It defines a clear baseline for the conceptual development of further additive domain models, as well as a methodology and a road map for the deployment of such developments in practice.”

2.4.1. Padronização x Modelagem de Produtos

Para padronizar de uma maneira realmente útil não é suficiente um acordo entre alguns usuários, nem somente sobre alguns objetos produzidos. É preciso ser o mais amplo e flexível possível, tanto no que se refere à participação dos indivíduos atuantes no ciclo de vida do produto, quanto à possibilidade de descrição de qualquer produto. Dessa amplitude e flexibilidade decorrem novos obstáculos como consistência e a segurança, entre outros. O desafio não é trivial.

A padronização das informações sobre um produto pode ser analisada em dois sentidos: 1) a padronização estrito senso, ou seja, um grande acordo de todos ou pelo menos a maioria dos usuários sobre quais informações desejam utilizar e julgam serem as mais importantes, e o formato que elas devem ter; 2) a Modelagem de Produtos, que se baseia em uma proposta lógica e bem fundamentada de uma estrutura de dados que corresponde à natureza do objeto. Muitos esforços foram surgindo nesses dois sentidos, e ainda prosseguem em desenvolvimento. Para os conjuntos de informações mais complexas é praticamente impossível existir somente a padronização estrito senso, ou seja, sempre se trata a padronização do ponto de vista da Modelagem de Produtos.

Vários padrões para Modelagem de Produtos foram desenvolvidos em diversos países desde a década de 60. Primeiramente eles foram propostos somente para intercâmbio de dados geométricos como o DXF (*Drawing eXchange Format*) da empresa de desenvolvimento de programas de CAD (*Computer Aided Design*) AutoDesk®, o IGES (*International Graphics Exchange Standard*) dos Estados Unidos, o SET (*Standard d'Exchange et de Transfert*) da França e o VDA/FS (*Verband der Deutschen Automobilindustrie - Flachenschichtstelle*) da Alemanha.

Um dos esforços que mais se destacou na Modelagem de Produtos em geral foi o da ISO (*International Organization for Standardization*), com a norma ISO10303, também conhecida como STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*), que descreve como representar e intercambiar informações sobre produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Os trabalhos para a elaboração dessa norma começaram em 1984, conduzidos pelo comitê ISO TC184/SC4, em conjunto

com o PDES (*Product Data Exchange using STEP*) que foi uma iniciativa de padronização americana desenvolvida pela Organização IGES/PDES (*International Graphics Exchange Standard/ Product Data Exchange using STEP*). O primeiro conjunto de Padrões Internacionais foi aprovado em 1994, gerando a documentação (ISO, 1994a).

O STEP é descrito por um grande número de documentos onde cada documento desenvolve um assunto específico do padrão como, por exemplo, o documento ISO 10303-11 (ISO, 1994b) descreve a linguagem EXPRESS⁸ que é uma linguagem formal (*DDL- Data Definition Language*) para descrever o modelo de produto, ou o documento ISO 10303-21, que descreve um formato de arquivo para o intercâmbio de dados.

Desde o início da elaboração do STEP, uma série de pesquisadores como Gu; Chan (1995), Peng; Trappey (1998), e Kahn et alii (2001), Zha; Du (2002) vêm experimentando e contribuindo para complementação e efetiva utilização destes padrões. Hoje em dia, várias indústrias como a Airbus Deutschland GmbH, BMW, Daimler Chrysler, Goodyear Dunlop Tyres, SAAB Automobile, ThyssenKrupp Technologies, Volkswagen (conforme a página da Internet da PROSTEP: <http://www.prostep.org/en/>, acesso em maio de 2005), já estão aplicando algumas dessas normas e empresas de software já desenvolveram programas de auxílio ao projeto que incorporam pelo menos as possibilidades de formatação dos dados.

Em AEC encontram-se algumas referências da aplicação do STEP, como em (SEMENOV et alii, 2004), que apresenta uma nova plataforma de software chamada *OpenSTEP* cujo objetivo é servir de base para a integração de sistemas através do STEP, e em (EASTMAN et alii, 2005), que apresenta o desenvolvimento do *CIMsteel Integration Standard* que é um modelo de produto baseado no STEP.

⁸ As notações do EXPRESS e EXPRESS-G encontram-se nos Apêndices A e B desse trabalho.

Outros principais trabalhos relacionados à Padronização de Produtos e a Modelagem de Produtos no campo de AEC, mencionados por [Galle \(1994\)](#), [Kern \(1997\)](#), [Tolman \(1999\)](#) e [Micali \(2000\)](#) são:

- **BDS** (*Building Description System*): sistema iniciado em 1969 pelo *Applied Research of Cambridge* do Reino Unido, foi um das primeiras descrições de edificações em geral. Possibilita representações em 3D de espaços e componentes físicos.

- **GLIDE** (*Graphical Language for Interactive Design*): sistema criado em meados dos anos 70 pelo *Institute of Physical Planning, School of Urban and Public Affairs, Department of Architecture, Carnegie-Mellon University*. É um Sistema de Modelagem de Edificação que possui uma linguagem de implementação compilada, um gerenciamento da base de dados, uma modelagem geométrica de sólidos (as formas podem ser combinadas com os operadores booleanos de união, interseção e diferença), uma entrada e uma saída de dados gráfica, e interpretação de comandos alfanuméricos. Bibliotecas de procedimentos escritos na linguagem GLIDE proporcionam características adicionais como menus, seleções de objetos na tela e formas paramétricas padronizadas.

- **EDM** (*Engineering Data Model*): Modelo de dados criado no fim dos anos 80, início dos anos 90, pelo *Department of Architecture and Urban Design, University of California, Los Angeles*. Trata-se de um ‘Modelo Formal de Representação de Informações de Engenharia’. Os objetivos principais são a representação de funções, de propriedades físicas e forma dos produtos. O modelo permite o suporte a vários níveis de abstração em várias fases do ciclo de vida do produto. A evolução desse modelo chama-se EDM-2 ([EASTMAN, 1995](#)).

- **BDA** (*Building Design Advisor*): Ambiente de software desenvolvido pelo *Department of the Environmental Energy Technologies Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory* a partir de meados dos anos 80. Esse ambiente dá suporte a um uso integrado de ferramentas de análise e de visualização ao longo de todo o processo de projeto. Usa uma representação, proveniente do conceito de Orientação a Objetos, do edifício e do seu contexto, e atua como um

gerenciador de dados e um controlador de processos para permitir aos projetistas beneficiarem-se das potencialidades das múltiplas ferramentas. O BDA procura modelar os componentes da edificação de acordo com os parâmetros que definem as suas características geométricas, a cor, etc. O trabalho de desenvolvimento do BDA continua sendo conduzido hoje em dia (([PAPAMICHAEL et alii, 1996](#)), ([SIMINOVITCH, 1999](#)), ([BUILDING TECHNOLOGIES DEPARTMENT - ENVIRONMENTAL ENERGY TECHNOLOGIES DIVISION, 2001](#))).

- **ARMILLA:** Projeto proposto como um modelo genérico de instalação (montagem, construção), que envolve uma série de outros projetos relacionados ao CAAD. Desenvolvido inicialmente pelo prof. Fritz Haller da *University of Karlsruhe* com base em diversos sistemas de fácil montagem e desmontagem e rearranjo de elementos construtivos utilizados em escritórios de uso múltiplo ou edifícios de escolas. A história do projeto remonta-se aos anos 60 e atualmente conta com diversas versões e muitos desenvolvimentos. Trabalha com o conceito de **recipientes** que contêm **dados** e **ferramentas**. Os **recipientes** da construção virtual, também chamados **componentes** da construção virtual, desenvolvem-se até o estágio em que são transformados em componentes da construção física. Esse processo é acompanhado em todo o ciclo da construção. Em 1998 ainda havia novos desenvolvimentos do modelo ([HOVESTADT; HOVESTADT, 1998](#)).

- **GARM (*General AEC Reference Model*):** Modelo abstrato proposto pelo projeto STEP ISO TC 184/SC4/WG1 DOC N.3.2.2.1, mas não aceito. No GARM os produtos são descritos em termos de PDUs (*Product Definition Units*). Uma PDU é qualquer parte do produto suficientemente relevante e da qual se podem manter informações. Ela possui certas características (por exemplo, características de resistência) que são relacionadas a aspectos (por exemplo: estabilidade, segurança no uso) motivadas por influências externas modeladas como agentes (por exemplo: cargas vivas ou mortas, vento e terremotos). O significado das PDUs e das características é determinado por uma série de mecanismos de abstração: (1) ‘especialização’ (relacionamentos ‘É-UMA’), (2) ‘decomposição’ (relacionamento ‘PARTE-DE’), (3) estágios do ciclo de vida, (4) classificação das PDUs em um nível genérico de unidades paramétricas (por exemplo: uma janela com uma determinada

topologia mas com a largura e a altura deixadas como parâmetros não definidos), um nível específico de unidades idênticas onde os parâmetros possuem valores, mas a localização e a orientação não são especificadas, e um nível de ocorrência com localização e orientação.

- RATAS: projeto desenvolvido pelo *Technical Research Center* da Finlândia, no final dos anos 90 com a finalidade de criar um padrão para o ambiente de CAD usado na indústria de construção civil. O sistema é modelado através de uma hierarquia de abstração: construção, sistema, subsistema, parte e detalhe. Uma hierarquia de classes (Orientação a Objetos), com heranças simples e múltiplas dos objetos do modelo, e que especificam atributos dos seus objetos membros.

- IRMA (*Integration Reference Model Architecture*): Modelo criado em 1990 por um grupo de pesquisadores influenciados pelo GARM e que tinham o objetivo de conseguir um consenso internacional da comunidade científica dos diversos países participantes. Houve consenso sobre a necessidade de ampliação do escopo da modelagem de produto para a modelagem de projeto e de incluir entidades básicas para as atividades (ou processos), recursos e controles (LUITEN et alii, 1993).

- ATLAS: Projeto iniciado pela *European Commission* que teve como objetivo desenvolver, implementar, demonstrar e disseminar modelos semânticos de informações de projeto a partir dos resultados do IRMA (TOLMAN; POYET, 1994) e (TOLMAN et alii, 1995).

- IFC (*Industry Foundation Classes*): juntamente com o STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*), trata-se de um dos principais projetos de padronização no campo de AEC. O IFC é um produto da IAI (*International Alliance for Interoperability*), organização criada em 1995 com membros de mais de 20 países com mais de 600 companhias envolvidas, a maior parte da área de construção e de desenvolvimento de sistemas de CAD. A IAI também desenvolve outro projeto importante que é o aecXML que pretende padronizar dados específicos especialmente envolvidos nas atividades de *e-commerce* (comércio via Internet) e o intercâmbio de dados entre bases de dados que possuem estruturas diferentes, através da linguagem XML (*eXchange Markup Language*). O principal objetivo é padronizar

as classes usadas em sistemas baseados em Orientação a Objetos, de forma que softwares diferentes (CAD, orçamento, planejamento, programação, cálculo estrutural, etc.) possam compartilhar os mesmos dados.

O sistema IFC é um padrão de representação de dados e um formato de arquivo que define dados gráficos de programas de CAD de Arquitetura e Construção como objetos 3D. O IFC permite que diferentes sistemas de CAD transfiram dados de projeto entre si sem a necessidade de acordos entre as companhias desenvolvedoras dos programas.

A intenção da IAI é especificar como as “coisas” acontecem na construção (reais, como portas, janelas, paredes, etc. ou conceitos abstratos, como espaço, processos, etc.) e como eles podem ser representados digitalmente. Essas especificações são chamadas de classes e representam uma estrutura de dados que dão suporte a um modelo de projeto compartilhando dados através de aplicações. Para implementar aplicações usando o padrão IFC (considerado como uma API - *Application Programming Interface*) a IAI desenvolveu o modelo de objetos e as especificações necessárias. Esse modelo de projeto comum serve como fundamento para o desenvolvimento de aplicações de AEC usando as classes IFC. O padrão tem dois tipos de documentos de especificação: um deles ajuda os profissionais a entender os conceitos específicos de cada assunto, contido no modelo de informações, usando a linguagem EXPRESS-G do padrão STEP, e o outro é usado como referência para os programadores que pretendem usar a interface padrão IFC ([MODEL SUPPORT GROUP, 2004](#)).

3. UM MODELO DE DADOS PARA AUXILIAR NAS TAREFAS DE AEC

A evolução dos modelos de informações para AEC é marcada por uma tendência à utilização dos paradigmas da **orientação a objetos** (OO) e pela elaboração de um modelo adaptável e ampliável, que possa ao mesmo tempo servir de base para a implementação das mais variadas aplicações em AEC e sirva de meio de comunicação entre elas. Exemplos dessa tendência são encontrados em trabalhos de [Hendrix \(1997\)](#), [Hendrix; Neuckermans \(1999\)](#) e [\(2001\)](#), que apresentam uma abordagem mais ampla da inserção do conceito de objetos em AEC, [Fan et alii \(2003\)](#), que apresentam um modelo para planejamento de construção, [Flemming et alii \(2004\)](#), que apresentam uma proposta de utilização da orientação a objetos em cursos de graduação na *School of Architecture* da *CarnegieMellon University*, [Hiremath; Skibniewski \(2004\)](#), que apresentam a modelagem orientada a objetos de processos de construção através da linguagem UML (*Unified Modeling Language*).

O modelo IFC, criado e continuamente desenvolvido pela IAI, é um destes modelos que atualmente conta com a maior aceitação entre os pesquisadores acadêmicos e das empresas de software, e cujos desenvolvimentos já foram incorporados em aplicações de uso freqüente entre os profissionais de AEC. Conforme a [INTERNATIONAL ALLIANCE FOR INTEROPERABILITY \(2001\)](#), alguns dos produtos que já gozam da certificação da IAI por incorporarem capacidade de trabalhar com o IFC são:

- Autodesk - Architectural Desktop
- Graphisoft - ArchiCAD
- Nemetschek - ALLPLAN
- Olof Granlund - BSpro
- Data Design Systems - HousePartner
- HAN Dataport – EliteNT

- Eurostep - WebSTEP (toolbox/server)
- Olof Granlund - BSPro (toolbox/server)
- Microsoft - Visio 2002 Professional (read/write)
- Graphisoft - ArchiCAD (read/write)
- Claire project - IFC Viewer (read-only)
- TOPS - IFC to VRML Converter (read-only)
- Solibri - Solibri Model Checker (read-only)
- PNNL - ComCheck EZ (read-only)
- LBNL - EnergyPlus (read-only)
- Olof Granlund - RIUSKA (read-only)
- Skanska - Facets (read-only)
- Timberline - PECAD (read/write)
- YIT - COVE (read-only)

A IAI também procura dar suporte a projetos que utilizem o IFC para ajudar na sua aplicação e também como forma de ganhar experiência ao incorporá-las ao IFC. É o caso do trabalho de desenvolvimento do Sistema de Verificação de Plantas, Plantas de Edificação Integradas, Serviços de Edificação Integrados (*Integrated Building Plan, Integrated Building Services (IBP/IBS) Plan Checking System*). Este sistema está sendo elaborado pela Autoridade de Edificação e Construção da República de Cingapura (*Building and Construction Authority of the Republic of Singapore - BCA*) dentro do projeto CORENET. Participam desse projeto as empresas novaSPRINT Singapore, AEC3 Ltd. UK e a EPM Norway.

Escolheu-se trabalhar com esse modelo, ajudando no seu desenvolvimento, pela sua atual popularidade e por se tratar de um esforço que é indiscutivelmente o mais organizado e com mais perspectivas futuras dentre os existentes. Além disso, a proposta de um modelo aberto a incrementos e cooperações diversas da comunidade acadêmica e dos profissionais de AEC, características do IFC, é plenamente adequada ao tipo de trabalho proposto.

3.1. O Modelo IFC

O Modelo IFC tem como finalidade a organização de informações que devem servir para o trabalho compartilhado ou a interoperabilidade entre aplicações no âmbito de AEC. Em termos práticos isso significa que, ao adotar a estrutura do IFC, várias aplicações podem usar a mesma base de dados, a mesma estrutura de informações, uma mesma linguagem de descrição de objetos e relações, etc. Para fazer que isso realmente ocorra assim o IFC:

1) É uma descrição que captura as necessidades de informações mais importantes de forma consistente, já que é impossível capturar todas. Essa descrição pode ser ampliada sempre que isso se mostre conveniente.

2) Está preparado para ser usado da maneira mais precisa pelas diversas aplicações e mais confortável, ou seja, não exige um esforço muito grande por parte da aplicação para garantir o uso adequado das informações.

Estabelecer quais são as informações mais importantes, é um trabalho que depende de um esforço grande levado por especialistas com visão e experiência nesse tipo de pesquisa, que estejam atualizados sobre os esforços feitos nesse sentido, que existiram e estão em andamento, e também estejam familiarizados com as possibilidades de hoje e as potencialidades futuras. Esse é o perfil dos que estão trabalhando no modelo IFC.

A comunidade de pesquisadores do IAI chegou a um **Modelo de Dados** e a sua respectiva **Representação**, incorporando conceitos e aproveitando o trabalho de levantamento já desenvolvido por algumas linhas de pesquisa mais promissoras.

Conforme o raciocínio que foi feito anteriormente, o **Modelo de dados** é uma **proposta lógica** de estrutura de informações, e a **Representação** dessa estrutura é a **proposta formal**. Estes dois âmbitos do modelo estão perfeitamente interligados, ou seja, para que se proponha uma estrutura é preciso utilizar uma linguagem, uma representação e, no sentido contrário, na medida em que se utiliza uma representação ou uma linguagem, que possui uma lógica, uma gramática, que serve de apoio para o raciocínio lógico, esta influencia a estrutura (Figura 6).

Figura 6 - Esquema representação x estrutura no modelo. (fonte: do autor)

No entanto, é compreensível que a estrutura lógica seja algo mais ligado ao substrato, mais duradouro e indiscutível e que a representação seja mais ligada ao acidental, mais periférica, circunstancial e discutível.

Sendo assim, a proposta do IAI para o modelo IFC como **Modelo de Dados**, consta de uma **Estrutura** lógica de objetos e relações que está representada através de uma **Linguagem** comumente utilizada em modelos de dados. Várias características da Orientação a Objetos foram incorporados à estrutura do modelo IFC e a representação do modelo se faz através da linguagem EXPRESS definida na ISO 10303 parte 11:1994 ([ISO, 1994a](#)) ou da linguagem de Definição de Esquema (XSD) do XML definida pelo *World Wide Web Consortium* ([W3C, 2005](#)).

Quanto mais aplicações puderem utilizar esse Modelo de Dados, mais chances ele tem de se tornar uma descrição verdadeiramente universal, e isso vai ser uma realidade na medida em que os desenvolvedores das aplicações perceberem que

a sua utilização é vantajosa, ainda que haja necessidade de algum trabalho adicional de adaptação.

Na introdução desse trabalho, chegou-se a distinção entre **modelo** e **representação** e explicou-se a fusão que costuma ocorrer entre esses dois conceitos. Foi explicado que se poderia entender o modelo como um conjunto estrutura/representação. Para entender a abordagem e as definições utilizadas pelo IFC é necessário considerar esses matizes da definição de modelo.

Apresentam-se a seguir alguns conceitos e a sua definição do ponto de vista do IFC ([MODEL SUPPORT GROUP, 2001](#)). Note-se que a distinção entre Modelo de Informações e Modelo de Dados não fica totalmente clara para o IFC.

Do ponto de vista do IFC:

Modelo: é a especificação completa de informações proporcionada por uma versão do IFC incluindo o modelo propriamente dito, todos os conjuntos de propriedades dirigidas aos dados, declarados externos ao Modelo IFC, e toda a documentação associada.

Modelo de informação: é uma proposição formal de classes, atributos, e conjuntos de propriedades declaradas em uma linguagem de definição formal, normalmente a linguagem EXPRESS. As expressões: modelo de informações, modelo de produto, modelo de dados de produto e modelo de objeto são também usados para descrever modelos formais.

Conjunto de propriedades dirigidas ao modelo: é um conjunto de propriedades que é descrito como parte do modelo.

Conjunto de propriedades dirigidas aos dados: é um conjunto de propriedades que é descrito externamente ao modelo de informações, mas que é um elemento dentro do modelo IFC.

Classe: é o que identifica um tipo de entidade para o qual cada instância, ou seja, cada elemento da classe, distinto e individualizado em uma aplicação concreta,

tem propriedades comuns. O termo ‘entidade’ é freqüentemente usado para representar o termo ‘classe’ e vice-versa. Tanto um quanto outro são aceitos no desenvolvimento do IFC.

A Orientação a Objetos segundo [Booch \(1991\)](#), é uma abordagem de modelagem de aspectos estáticos e dinâmicos do estado e do comportamento dos modelos, inicialmente foi aplicada ao projeto de software, mas já é bastante comum encontrar-se aplicada a muitas outras áreas. Anteriormente, foram citadas várias propostas recentes da aplicação da Orientação a Objetos no campo de AEC.

De forma bem resumida, a Orientação a Objetos define Classes, Objetos, Variáveis e Métodos e as relações entre os objetos, através de conceitos como: abstração (concentrar-se em aspectos essenciais, evitando detalhes num primeiro momento), encapsulamento (separação entre aspectos internos e externos de um objeto) e modularidade (capacidade de implementar-se em blocos). Segundo [Rumbaugh \(1991\)](#): “*Identidade, classificação, polimorfismo e herança caracterizam as principais linguagens baseadas em objetos*”. **Identidade** significa subdivisão das entidades em objetos, **classificação** significa o agrupamento de objetos em classes, **polimorfismo** é a capacidade de uma mesma operação comportar-se distintamente em classes diferentes, e a **herança** é o compartilhamento pelas classes de características comuns.

A vantagem de se usar essa abordagem de modelagem é que já houve uma grande evolução tanto no seu aspecto formal, tendo chegado a uma linguagem unificada de modelagem (UML – *Unified Modeling Language*), quanto nas implementações de linguagens de programação que incorporam os seus conceitos como, por exemplo, a linguagem Java. No caso da Java chamam a atenção também a contínua evolução e a facilidade de encontrar soluções já elaboradas e reutilizá-las.

As atividades ligadas ao setor de Construção Civil têm como característica tratar com uma grande quantidade de dados e envolver uma também grande quantidade de agentes ao longo do seu ciclo de vida. Desde o levantamento inicial da viabilidade do empreendimento até os procedimentos de manutenção da edificação, passando pelo projeto e pela execução do mesmo, uma numerosa quantidade de

agentes intervêm (pessoas, empresas, instituições, etc.), cada um deles contribuindo com suas opiniões, seus produtos e serviços específicos, e apresentados conforme a sua maneira própria, seguindo seus próprios requisitos e o seu nível de importância. Essa complexidade de elementos intervenientes torna a gestão do empreendimento bastante complexa também.

As informações que procedem de tão diversas fontes também se apresentam de forma diferente devido à sua natureza distinta (Figura 7). Por exemplo, as informações se apresentam em forma de uma fatura, um relatório de acompanhamento, um desenho ou um modelo tridimensional em CAD, um cronograma, um fluxograma, uma planilha de fluxo de caixa, etc. Todas essas informações se dirigem a um único fim que é a construção e posterior utilização do edifício. No meio do processo elas terão que ser compartilhadas, combinadas, interpretadas, transformadas, de forma a ganharem inteligibilidade contextual e suprirem as necessidades de cada fase do ciclo de vida da edificação, além de terem que ser bem aproveitadas e protegidas de maneira a que não se percam ao longo do seu fluxo.

Figura 7 - Diversas fontes de informação no campo de AEC (fonte: figuras extraídas de bancos de imagens da Internet e organizadas pelo autor)

As dificuldades que surgem durante o processo são justamente as anteriormente mencionadas. Em primeiro lugar é preciso compatibilizar os tipos de dados, ou seja, por causa da origem diversa, muitos deles precisam ser traduzidos ou convertidos à linguagem utilizada na tarefa que está sendo executada naquele momento preciso. Em um momento subsequente, ou mesmo em paralelo, a linguagem pode ser diferente e há necessidade de novas conversões. Esse processo, além de ser custoso, pode induzir a erros e perdas, até mesmo pela simples dificuldade de tradução. O resultado é que diferentes tarefas voltadas para o mesmo produto passam a trabalhar com dados discrepantes quando não contraditórios. Esse perigo já é bem conhecido e as revisões e correções, as reuniões para compatibilização, acabam se multiplicando e sendo um fator de atraso e conseqüente aumento de custo da obra, sem contar o desgaste da equipe e outros problemas provenientes da comunicação equivocada.

É necessário dispor de um mecanismo ágil e preciso de intercâmbio de informações entre os indivíduos intervenientes no empreendimento de edificação. Os requisitos fundamentais para isso, que comumente chama-se **interoperabilidade**, são: trabalhar com formatos padronizados e compartilháveis, e dispor de um mecanismo de comunicação eficiente e adequado dessas informações sobre o empreendimento de edificação.

A prática do projeto de edificações, ao trabalhar com os formatos digitais de desenhos, foi buscando um padrão de troca de informações naturalmente. Apoiado no que já existia implementado, padrões como o DXF (*Drawing eXchange Format*) por exemplo, deu-se o primeiro passo para o intercâmbio de informações, ainda limitado às informações geométricas. Sentiu-se a necessidade de se acrescentarem dados que fizessem referência aos outros aspectos da edificação além dos geométricos e, mais ainda, ao empreendimento de edificações como um todo. Uma das possibilidades desenvolvidas foi a ampliação do formato de informações geométricas, agregando essas novas informações, e isso foi feito em diversos níveis conforme constata [Ferreira \(1998\)](#), mas, como a complexidade aumenta muito ao manipular estes novos dados, tornou-se necessário criar um novo formato baseado em um modelo também mais amplo que apóia esse novo formato.

3.2. O modelo IFC como um modelo de dados

O IFC (*Industry Foundation Classes*) é uma especificação aberta, disponível gratuitamente, não exclusiva, de um **modelo de dados** que visa alcançar a interoperabilidade no setor de AEC, proposto e mantido pela IAI.

Iniciada em 1995 nos EUA a IAI é uma aliança global, com fins não lucrativos, de indústrias do ramo da construção civil, instituições de pesquisa e tecnologia de informações, trabalhando juntas para capacitar e promover a interoperabilidade (compartilhamento de informações através de soluções tecnológicas integradas) entre as diversas matérias e aplicações técnicas no ciclo de vida das instalações e serviços. Hoje em dia há departamentos do IAI em 10 regiões (países e grupos de países) e mais de 600 organizações fazem parte do IAI.

(<http://www.iai-international.org/Organisation/IAIChapters.shtml> e <http://www.iai-na.org/about/iaiandinteroperability.pdf>, acesso em maio de 2005).

Esse **modelo de dados** tem sido continuamente melhorado e novas versões do IFC são produzidas desde janeiro de 1997. A Plataforma IFC 2x foi confirmada em novembro de 2002 pela ISO como uma Especificação Disponível Publicamente (Publicly Available Specification - PAS) sob o nome de ISO/PAS 16739. Isso faz que característica informal do IFC como padrão de intercâmbio de informações sobre edificações se transforme em algo formal e tenha o respaldo internacional. ([INTERNATIONAL ALLIANCE FOR INTEROPERABILITY, 2001](#)).

A última versão do modelo IFC, publicada em 2004, é a 2x2 Addendum 1, e o último guia de implementação em março de 2004 ([MODEL SUPPORT GROUP, 2004](#)).

O **modelo de dados do IFC** consiste em uma especificação formal que pode ser usada pelos elaboradores de software para criar aplicações que suportem o modelo IFC. Essa especificação formal está apoiada em elementos da Orientação a Objetos e isso faz que o IFC seja um conjunto de classes de objetos organizados de forma hierárquica que permite representar os diferentes componentes, produtos, agentes e processos que intervêm no desenvolvimento de uma edificação. Estes objetos estão agrupados em submodelos ou esquemas, conforme as suas características e a sua posição na hierarquia do modelo global. O modelo permite acréscimos, ou modelos de extensão, desde que eles cumpram as regras apropriadas e se harmonizem com o conjunto garantindo a interoperabilidade.

Uma idéia importante do IFC que vale a pena destacar é o conceito de **vista**. As aplicações não precisam, e nem é conveniente, implementar o modelo completo. Implementa-se um subconjunto dele, ou mais propriamente uma **vista** do modelo, já que está organizado de tal forma que essas **vistas** trabalham de maneira consistente e coerente com o modelo total.

Informações bem detalhadas sobre o propósito do modelo IFC e as justificativas apresentadas à ISO podem ser encontradas em ([INTERNATIONAL ALLIANCE FOR INTEROPERABILITY, 2005](#)).

3.3. Documentação do Modelo IFC

A documentação do IFC, disponível na Internet, consta fundamentalmente de três partes:

- Estrutura de arquivos em HTML contendo a apresentação do modelo e explicações completas, com os correspondentes trechos em EXPRESS ou EXPRESS-G (linguagem gráfica apoiada na lógica da linguagem EXPRESS cujo objetivo é deixar mais visível as relações do modelo).
- Arquivo com o modelo completo escrito em EXPRESS.
- Guias, manuais e outras informações de implementação.

A seguir apresentam-se uma série de definições do IFC extraídas da documentação. Muitos trechos são traduções e composições de vários textos presentes em distintos locais da documentação, adaptados às necessidades deste trabalho.

3.4. Arquitetura do Modelo IFC

A Arquitetura do modelo IFC foi definida levando em conta uma série de cuidados e objetivos que garantem ao modelo uma vantagem real diante de outras possibilidades. Resumidamente podem-se citar os seguintes cuidados e objetivos:

- Proporcionar uma estrutura modular ao modelo;
- Proporcionar uma infra-estrutura para o compartilhamento de informações entre diferentes temas da indústria de AEC;
- Facilitar a manutenção e o desenvolvimento contínuos do modelo;

- Permitir aos modeladores de informação a reutilização dos componentes do modelo;
- Permitir aos autores de software a reutilização dos componentes de software;
- Facilitar a provisão de uma melhor compatibilidade entre as versões;

O modelo IFC é composto de quatro camadas conceituais que, por sua vez, se compõem de um conjunto de estruturas modulares para o desenvolvimento dos componentes do modelo, também chamadas de ‘Esquemas’, na seguinte ordem hierárquica: Domínio, Interoperabilidade, Núcleo e Recursos (Figura 8).

A camada de **Domínio** é a de mais alto nível, e ela proporciona conjuntos de módulos adaptados a tipos específicos de aplicações ou domínios específicos da indústria de AEC.

A camada de **Interoperabilidade** ou de Elementos Compartilhados proporciona um conjunto de módulos que definem conceitos ou objetos comuns a vários tipos de aplicações ou domínios da indústria de AEC.

A camada **Central** contém o Núcleo e algumas Extensões.

A camada de **Recursos** proporciona classes usadas por classes nos níveis mais elevados.

Cada classe superior pode referenciar-se a uma classe na camada inferior, mas não o contrário. As referências na mesma camada devem ser cuidadosamente executadas, mantendo a modularidade no projeto do modelo. Isso é chamado ‘Princípio da Gravidade’.

Referências feitas entre classes da camada de Domínio devem ser feitas através de ‘conceitos comuns’ definidas na camada de Interoperabilidade. Se possível, as referências entre módulos na camada de Recursos devem ser evitadas a fim de proporcionar a possibilidade de que cada módulo de recurso seja autônomo,

mas existem alguns recursos de nível inferior, de propósito geral, como os de **medidas** e **identificação** que são referenciados por muitos outros recursos.

Na camada Central, segundo o ‘Princípio da Gravidade’, as classes do esquema de Núcleo podem ser referenciadas ou usadas por classes nos esquemas de Extensões do Núcleo, mas o contrário não é permitido. Ver Figura 8.

A Figura 9 mostra o esquema geral do modelo IFC com os conjuntos de classes de cada camada.

Figura 8 - Princípio das camadas da Arquitetura IFC (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

Figura 9 - Esquema geral da Arquitetura do IFC (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

3.4.1. Camada de Recursos

É a camada de nível mais inferior na Arquitetura do Modelo IFC e pode ser referenciada ou usada por classes em outras camadas. É composta de classes de uso geral, conceitos ou objetos de nível inferior, independentes de aplicação ou de uma necessidade do domínio, mas que precisa das outras classes que a utilizam para existir. Por exemplo, a geometria é um recurso usado em muitas classes, cuja

especificação é independente do domínio, mas é preciso que um objeto exista, dentro de um domínio, antes que a geometria possa existir.

Cada esquema da camada de Recursos representa conceitos individuais. Por exemplo, todas as idéias sobre geometria estão dentro do esquema **IfcGeometryResource**. As definições fundamentais de entidades geométricas estão nesse esquema. Construções geométricas mais especializadas, como as extrusões feitas a partir de um perfil, são definidas no esquema **IfcProfileResource**. As referências feitas à Geometria pelas outras camadas serão realizadas através do esquema **IfcRepresentationResource**. Uma classe da camada de Núcleo pode utilizar várias entidades geométricas para representação.

Alguns dos temas tratados nesta camada são: geometria, topologia, representações, propriedades, agentes, custos, medidas de tempo, medições diversas, dados quantitativos, etc.

3.4.2. Camada Central

Essa camada proporciona a estrutura básica do modelo de objetos IFC e define os conceitos mais gerais que serão especializados em camadas superiores. Possui dois níveis de generalização ou esquemas: o **Núcleo** e as **Extensões do Núcleo**.

O esquema de **Núcleo** contém todos os conceitos básicos requeridos pelos modelos IFC. Ele também determina a estrutura do modelo e a decomposição. Também se incluem conceitos fundamentais sobre como serão fornecidos os objetos, relações, definições de tipos, atributos e responsabilidades. Ele pode ser visto como um modelo padrão que define a forma a partir da qual todos os outros esquemas dentro do modelo são desenvolvidos (incluindo todos os modelos de extensão). Ele é uma parte obrigatória de todas as implementações do IFC.

O esquema de **Extensões do Núcleo** (EXPRESS-G na Figura 10) proporciona as extensões ou especializações dos conceitos definidos no **Núcleo**. Elas ampliam as construções abstratas do **Núcleo** para serem usadas dentro da

indústria de AEC/GF (Arquitetura, Engenharia e Construção/Gerenciamento de Facilidades).

As referências entre **Extensões do Núcleo** têm que ser definidas com muita cautela de forma a que se permita a seleção de uma **Extensão do Núcleo** sem destruir a integridade de dados por uma referência externa inválida.

Figura 10 - Extensões do Núcleo das Classes Núcleo, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

A Camada Central trata dos temas: núcleo, controles, processos e produtos.

3.4.3. Camada de Interoperabilidade

Os conceitos ou classes que são comuns a dois ou mais domínios fazem parte dos esquemas da Camada de **Interoperabilidade** (ou de **Elementos Compartilhados**), sendo assim entende-se que é aqui que modelos de vários domínios podem ser conectados a um mesmo núcleo IFC.

Nessa camada são tratados temas como: construção, serviço, elementos espaciais, facilidades (ou instalações prediais), gerenciamento. Todos eles com a característica de compartilhamento.

3.4.4. Camada de Domínio

Os esquemas da camada de **Domínio** proporcionam os detalhes dos requisitos do escopo de um processo de AEC/GF ou de um tipo de aplicação. Em outras palavras, é aqui que são definidas as classes que representam mais diretamente os elementos de contato direto com os agentes dos processos de uma edificação, onde são detalhadas as características de cada elemento e onde o modelo tende a crescer na medida em que mais aplicações fizerem uso dele e se incluírem informações que definam bem os elementos. Por exemplo, é aqui que as informações específicas sobre uma luminária, sobre o revestimento de uma parede, sobre o acabamento de uma mobília serão definidos.

Cada esquema dessa camada é um modelo separado que pode usar ou referenciar qualquer classe definida na camada **Central** e na camada de **Recursos**. Eles fornecem as classes ‘nós-folha’ que permitem que as informações procedentes de Conjuntos de Propriedades (externos) sejam apropriadamente anexadas.

Essa camada possui esquemas referentes à arquitetura, condicionamento de ar, gerenciamento de facilidades, estruturas, sistema de eletricidade, etc.

3.5. Principais Estruturas de Modelo no Núcleo do IFC

A camada **Central** proporciona as informações que servem para todas as classes ‘nós-folha’, que por sua vez utilizam:

- Informações básicas sobre os objetos como **identificação** e **proprietário**.
- Informações básicas de **relacionamentos** com outros itens, como associações, agregações, etc.
- Conceitos básicos de informação de **tipo**, aplicados às ocorrências dos objetos.

- Conceitos básicos de informação de **propriedades**, usadas para definir o objeto.
- Conexão básica para algumas espécies de representações da forma dos objetos e a localização dentro do contexto do projeto.

Para que se possa fornecer esse tipo de suporte às demais classes, o **Núcleo** proporciona:

- Um conjunto de tipos de classes generalizados.
- Um conjunto de relacionamentos generalizados que podem ocorrer entre os tipos de classes;
- Uma maneira de ampliar o modelo IFC através de **Conjuntos de Propriedades** declarados externamente.

3.5.1. Conceito de Raiz

As classes ‘nós-folha’ são definidas a partir de uma entidade raiz, a **IfcRoot**. Essa classe proporciona os conceitos fundamentais de:

- Identificação.
- Proprietário e mudanças de informações.
- Atribuição opcional de nome e descrição.

Há três tipos fundamentais de entidades no modelo IFC, que são todas derivadas da **IfcRoot** (EXPRESS-G na Figura 11). Elas formam o primeiro nível de especialização dentro da hierarquia do IFC. São:

- **Objetos**: são as generalizações de qualquer **coisa**, ou item, semanticamente tratados.

- **Relações:** são as generalizações de todos os relacionamentos entre as coisas, ou itens, que são tratados como relacionamentos 'objetificados' no modelo IFC.
- **Propriedades:** são as generalizações de todas as características que podem ser assinaladas aos objetos, tanto tipos como tipos parciais, ou seja, *Conjuntos de Propriedades*.

Figura 11 - Raiz e as primeiras classes em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.5.2. Conceito de Objeto

Itens fisicamente tangíveis como paredes, cobertura, viga, itens fisicamente existentes como espaços, ou mesmo itens conceituais como malha ou limites “imaginários”, são considerados objetos para o IFC. A classe IFC que abrange estes itens é a **IfcObject**. Trata-se de uma classe supertipo abstrata (*abstract supertype*), o que significa que ela só pode ser instanciada através de seus subtipos.

A **IfcObject** também cobre as definições de: **processos**, como as metas de trabalho, **controles**, como os itens de custos, **recursos**, como mão-de-obra, **agentes**, como as pessoas envolvidas no processo de projeto ou de construção, etc.

3.5.3. Conceito de Relacionamento

A classe **IfcRelationship** representa a 'objetificação' de um relacionamento, ou seja, a transformação de um relacionamento em uma classe distinta.

Essa classe é o caminho mais adequado para manipular as relações entre os objetos, uma vez que ela permite que propriedades específicas do relacionamento se mantenham ligadas ao objeto **relacionamento** e as separe dos atributos dos objetos relacionados. Essa independência também permite que se estudem e se criem relacionamentos com diversas características, e a generalização-especialização dos mesmos.

É preciso observar, no entanto, que no esquema geral do IFC aparecem relacionamentos na camada de recursos, mas as classes que aparecem nessa camada são independentes da definição geral de relacionamento, ou seja, não são subtipos do **IfcRelationship**. Para reforçar a diferença entre elas a notação utilizada para os relacionamentos na camada de recursos segue o modo **IfcXXXRelationship**, enquanto que os relacionamentos que são subtipos do **IfcRelationship** segue o modo **IfcRelYYY**, sendo ‘XXX’ e ‘YYY’ uma indicação da semântica do relacionamento (Figura 12).

Figura 12 - Diferenças entre as relações no IFC (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

3.5.4. Conceito de Definição de Propriedade

A generalização de todas as características dos objetos é feita pela classe **IfcPropertyDefinition**, que reflete as informações específicas de um tipo de objeto conjugado com a informação sobre a ocorrência do objeto atual no contexto do projeto. Ela é aplicada aos objetos utilizando o conceito de **Relacionamento** visto anteriormente.

3.6. Árvore de Subtipos da Entidade Objeto do IFC

Existem sete tipos fundamentais de entidades no modelo IFC, que são derivadas (subtipos) do **IfcObject**, e formam o segundo nível de especialização dentro da hierarquia das classes IFC sob o ramo dos **objetos** (EXPRESS-G na Figura 13). São eles:

- **Produtos**: objetos físicos incorporados em um projeto. Podem ser fisicamente existentes ou tangíveis, definidos por representações da forma, e podem ter uma localização no sistema de coordenadas.
- **Processos**: ações executadas em um projeto, em uma execução, no gerenciamento, etc., alocadas em seqüência no tempo.
- **Controles**: conceitos que controlam ou restringem outros objetos. Podem ser vistos como guias, especificações, regulamentos, restrições ou outros requisitos aplicados a um objeto, que devem ser obedecidos.
- **Recursos**: conceitos que descrevem o uso de um objeto dentro de um processo.
- **Agentes**: indivíduos atuantes em alguma fase do ciclo de vida da edificação.
- **Projeto**: as incumbências de algumas atividades de engenharia que conduzem a um produto.
- **Grupo**: é um conjunto arbitrário de objetos.

Figura 13 - Árvore de subtipos de `IfcObject`, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.6.1. Classe Produto

A classe **IfcProduct** captura o conceito de produto. Possui atributos de representação e localização (EXPRESS-G na Figura 14).

Um subtipo especial de produto que é usado para objetos que não são de alguma forma semanticamente declarados como parte do modelo IFC é o **IfcProxy**, que possui os atributos herdados do **IfcProduct**, pode ser determinado posteriormente por definições de propriedade e, além disso, pode ter uma etiqueta (**tag**) para qualificar o seu uso posterior. É uma das poucas classes **não abstratas** dentro do Núcleo.

Figura 14 - **IfcProduct**, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.6.2. Classe Processo

A classe **IfcProcess** captura o conceito de processo. Possui atributo de nome e pode incorporar uma medida de produtividade para o processo. É uma classe **abstrata** (EXPRESS-G na Figura 15).

Figura 15 - **IfcProcess**, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.6.3. Classe Controle

A classe **IfcControl** captura o conceito de Controle. É uma classe **abstrata** que não possui atributos (EXPRESS-G na Figura 16).

Figura 16 - IfcControl, IfcResource, IfcGroup e IfcActor, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.6.4. Classe Recursos

A classe **IfcResource** captura o conceito de uso ou consumo das coisas. Pode ser vista como a idéia das coisas usadas dentro de um processo ou por um produto, e também pode ter uma unidade e um tipo de consumo. É uma classe abstrata.

3.6.5. Classe Grupo

A classe **IfcGroup** captura o conceito de agrupamento de objetos que podem ser considerados como uma unidade lógica dentro de AEC/GF. É um mecanismo muito geral e pode ser estabelecido por diversas razões. Um grupo não define um comportamento comum dos seus membros.

3.6.6. Classe Agente

A classe **IfcActor** captura o conceito de pessoas ou organizações ativas dentro do projeto AEC/GF, como participantes do projeto, futuros ocupantes, etc. É definido conforme uma *lista de seleção de tipos de dados*. É uma classe não abstrata.

3.6.7. Classe Projeto

A classe **IfcProject** captura os conceitos que são geralmente aplicados dentro de um projeto (AEC/GF). Um projeto é também o recipiente de mais alto nível de todas as informações que são intercambiadas e compartilhadas sobre os objetos AEC/GF em questão. Sendo assim, só haverá uma instância do **IfcProject** no arquivo físico do IFC ou no modelo de dados IFC. Essa instância possuirá as definições globais para o contexto de apresentação e as unidades dentro do contexto global. Também estabelece o contexto de todas as representações dentro do projeto, incluindo as unidades globais usadas dentro do arquivo IFC ou modelo de dados (EXPRESS-G na Figura 17).

No caso de uma representação geométrica, o contexto inclui também:

- o sistema de coordenadas absolutas;

- a dimensão do espaço de coordenadas;
- a precisão usada dentro das representações geométricas;
- opcionalmente, a indicação do norte verdadeiro com relação ao sistema de coordenadas absolutas;

Figura 17 - *IfcProject*, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.7. Árvore de Subtipos da Entidade Relacionamento do IFC

No modelo IFC há cinco tipos de relacionamentos fundamentais, que são derivados (subtipos) do **IfcRelationship**, formando o segundo nível de especialização dentro da hierarquia de classes do IFC sob o ramo dos relacionamentos.

Os cinco tipos fundamentais de relacionamento são:

- **Atribuição:** é uma generalização de relacionamentos de ligação entre instâncias de objetos e seus vários subtipos. Uma **ligação** denota a

associação específica através da qual um objeto (o cliente)⁹ emprega os serviços de outro objeto (o fornecedor), ou através do qual um objeto pode conduzir-se a outros objetos.

- **Associação:** refere-se a fontes externas de informação, na forma de uma *classificação*, uma *biblioteca* ou um *documento*, e as associa aos *objetos* ou a *definições de propriedades*.
- **Decomposição:** define o conceito geral de elementos como sendo compostos ou decompostos. O relacionamento de decomposição significa uma hierarquia todo/parte com a capacidade de dirigir-se do todo (a composição) para as partes e vice-versa.
- **Definição:** usa uma *definição de tipo* ou uma *definição de conjunto de propriedades* (visto como um tipo parcial de informação) para definir as propriedades da instância do objeto. A definição pode ser por tipo, usando a classe `IfcRelDefinesByType`, ou por propriedades, usando a classe `IfcRelDefinesByProperties`, ambas subtipos de `IfcRelDefines`.
- **Conectividade:** conexão entre dois ou mais objetos declarados dentro dos subtipos. Por exemplo, `IfcRelSequence` manipula a concatenação de processos no tempo.

3.7.1. Classe Relacionamento de Atribuição

Para cada subtipo de `IfcObject` há um *relacionamento de atribuição* com sua semântica específica, com exceção do `IfcProject`, que, uma vez que precisa somente de uma única instância em um projeto, não tem necessidade de um relacionamento para manipular a *atribuição*. Portanto, existem

⁹ Genericamente falando. Não do ponto de vista computacional.

as classes de *relacionamento de atribuição*: **IfcRelAssignsToResource**, **IfcRelAssignsToProcess**, **IfcRelAssignsToControl**, **IfcRelAssignsToProduct**, **IfcRelAssignsToGroup** e **IfcRelAssignsToActor** (EXPRESS-G na Figura 18).

Todas essas classes permitem a atribuição de uma ou mais instâncias de vários tipos de objetos a instâncias dos respectivos subtipos de **IfcObject** (**IfcResource**, **IfcProcess**, **IfcControl**, **IfcProduct**, **IfcGroup** e **IfcActor**).

No caso do **IfcActor**, um atributo **ActingRole** pode ser usado para descrever o papel exercido por um **agente** no contexto da atribuição. Para diferentes atribuições, um **agente** pode desempenhar diferentes papéis.

Figura 18 - *Relacionamento por Atribuição e Relacionamento de Associação, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)*

3.7.2. Classe Relacionamento de Associação

O estabelecimento de ligações entre objetos que podem ter referências a qualquer *tipo de objeto* ou *definição de propriedade* é feito pelo *relacionamento de associação* e a referência é definida pelo *tipo de seleção IfcObjectOrType*.

Os *relacionamentos de associação* definidos são: associação com *classificação*, associação com *documentos* e associação com *bibliotecas*.

3.7.2.1. Classe Relacionamento de Associação para Classificação

Uma *classificação* ou uma *notação* e qualquer *tipo de objeto* ou *definição de propriedade* são ligados através dessa classe. Considera-se que os sistemas de classificação, que podem ser gerais, como os sistemas nacionais e internacionais, ou locais (feitos dentro do modelo IFC), classificam qualquer subtipo do *IfcObject* ou qualquer *definição de propriedade*.

Um mesmo sistema de *classificação* pode ser associado a muitos objetos e também é possível instanciar vários *relacionamentos de associação* e associar vários sistemas de *classificação* a um só objeto.

3.7.2.2. Classe Relacionamento de Associação para Documentos

Vários ou somente um documento e qualquer tipo de objeto são ligados através dessa classe. Considera-se que quaisquer subtipos do *IfcObject* ou *definições de propriedades* podem ser associados a um *documento*.

Um único documento pode ser associado a muitos objetos e também se podem instanciar vários *relacionamentos de associação* e associar vários *documentos* a um só objeto.

3.7.2.3. Classe Relacionamento de Associação para Bibliotecas

Várias ou somente uma biblioteca e qualquer tipo de objeto, são ligados através dessa classe. Considera-se que quaisquer subtipos do **IfcObject** ou *definições de propriedades* podem ser associados a uma *biblioteca*.

Uma única biblioteca pode ser associada a muitos objetos e também se podem instanciar vários *relacionamentos de associação* e associar várias *bibliotecas* a um só objeto.

3.7.3. Classe Relacionamento de Decomposição

O estabelecimento de ligações entre objetos que participam de uma relação todo/parte se faz através do *Relacionamento de Decomposição* (**IfcRelDecomposes**), ou seja, existe um objeto pai que define o todo, em um nível da decomposição, e um ou mais objetos filho que definem as partes (EXPRESS-G na Figura 19).

Os *relacionamentos de decomposição* definidos são: *decomposição por agregação* (**IfcRelAggregates**) e *decomposição por aninhamento* (**IfcRelNests**). Na agregação o objeto pai e os objetos filho podem ser todos de classes diferentes dentre os subtipos do **IfcObject**, enquanto que no aninhamento ambos têm que ser instâncias da mesma classe dentre os subtipos do **IfcObject**. Uma regra impede que um objeto pai se inclua no aninhamento.

Figura 19 - *Relacionamento de Decomposição*, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.7.4. Classe Relacionamento de Definição

O *Relacionamento de Definição* liga objetos individuais (ocorrências) a definições de tipo (objetos específicos) ou definições de *Conjuntos de Propriedades*, e se faz pela *definição por propriedades* e pela *definição por tipos*.

3.7.4.1. Classe Relacionamento de Definição por Propriedades

Essa classe **IfcRelDefinesByProperties** possibilita a anexação de uma *definição de conjunto de propriedades* a um objeto dentre os subtipos do **IfcObject**.

Um objeto pode participar em vários relacionamentos **IfcRelDefinesByProperties** o que possibilita a anexação de várias

definições de Conjuntos de Propriedades. No entanto, para definir um objeto sendo de vários tipos, é mais apropriado o uso do relacionamento **IfcRelDefinesByType**, uma vez que as *definições de Conjuntos de Propriedades* podem combinar logicamente com uma *definição de tipo*.

3.7.4.2. Classe Relacionamento de Definição por Tipos

Essa classe **IfcRelDefinesByType** possibilita a anexação de um *tipo de objeto* a qualquer objeto dentre os subtipos do **IfcObject** (EXPRESS-G na Figura 20).

Uma vez que um *tipo de objeto* contém uma lista de *definições de Conjuntos de Propriedades*, o uso dessa classe é a melhor abordagem para anexar várias *definições de Conjuntos de Propriedades* a um único objeto ou a um conjunto de objetos definido.

Figura 20 - Relacionamento de Definição, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.7.5. Classe Relacionamento de Conexão

Objetos que são conectados de alguma forma podem ser ligados através do **Relacionamento de Conexão**. Essa conexão pode ser física ou lógica (EXPRESS-G na Figura 21).

O relacionamento de conexão **IfcRelConnects** tem um subtipo: **Seqüência (IfcRelSequence)**.

3.7.5.1. Classe Relacionamento de Conexão por Seqüência

O **relacionamento de conexão por seqüência** estabelece ligações entre dois processos e define o tipo de ligação através de um tipo de dados de enumeração de seqüência. Isso capacita a identificação de um **relacionamento de conexão por seqüência** em termos dos tempos de começo e fim para um processo e, quando o período de tempo ocorre dentro da ligação, a sua extensão.

Um **relacionamento de conexão por seqüência** é estabelecido todas as vezes que um relacionamento é requisitado entre dois processos, ou seja, a seqüência é um relacionamento **um para um** entre processos. Assim, se um processo precedente tem um relacionamento com vários processos subseqüentes, há uma instância de um **relacionamento por seqüência** entre cada par de processos precedente-subseqüente.

Uma regra impede a criação de um relacionamento de seqüência entre um processo relacionado e um processo relacionante que são o mesmo processo.

Figura 21 - *Relacionamento de Conexão*, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.8. Árvore de Subtipos da classe de Definição de Propriedades do IFC

No modelo IFC há dois conceitos fundamentais de *definição de propriedades*, subtipos do **IfcPropertyDefinition** (EXPRESS-G na Figura 22) :

- **IfcTypeObject**: que define as informações específicas sobre um tipo e proporciona meios de agrupamento de *Conjuntos de Propriedades* que comumente trabalham juntos.
- **IfcPropertySetDefinition**: que define *Conjuntos de Propriedades* compartilháveis e ampliáveis, que são anexadas a ocorrências de um objeto e o caracterizam, sendo que estes conjuntos são considerados como um tipo parcial de informação na medida em que eles estabelecem um subconjunto de informações de propriedades compartilhadas entre ocorrências de objetos.

A classe **IfcPropertyDefinition** expressa o conceito de um conjunto de propriedades que podem atuar ao mesmo tempo para caracterizar um objeto. O conjunto de propriedades que proporciona a caracterização pode ser declarado externamente ao modelo IFC através da classe **IfcPropertySet** ou dentro do modelo.

Um *Conjunto de Propriedades* pode ser feito especificamente para uma classe através de um atributo de *definição de tipo da classe*. O mecanismo de definição de tipo é uma enumeração dos *Conjuntos de Propriedades* passíveis de serem anexados à classe, onde cada valor na lista de enumeração tem uma correspondência de nome com a declaração do *Conjunto de Propriedades* expressada através do atributo **Nome (Name)**. Estes *Conjuntos de Propriedades* são publicados como parte da especificação do modelo IFC.

O Modelo de Objetos do IFC consiste em um conjunto de caminhos bem definidos para segmentar a informação e distribuí-las entre classes, e para estruturar a

informação que define um objeto (que é uma instância de uma classe em uso). As estruturas de informação proporcionam uma especificação formal de atributos que pertencem a classes e definem como intercambiar dados e compartilhá-los usando as partes 21 e 22 da ISO 10303 ou outro método de codificação.

No entanto, há muitos tipos de informação que os usuários podem precisar intercambiar que não estão incluídos atualmente dentro do Modelo IFC.

Para esse propósito, o Modelo IFC proporciona o mecanismo de **Definição de Propriedades (Property Definition)**, uma parte do qual está dentro do esquema do **IfcKernel** e o restante dentro do esquema do **IfcPropertyResource**. Esse mecanismo permite, de forma genérica, que usuários do modelo definam, conectem e usem propriedades dirigidas aos dados (data-driven) e ampliáveis, com os objetos.

As **Definições de Propriedades** podem ser:

- **por tipo** e compartilhada pelas várias instâncias de uma classe.
- **por tipo**, mas específico para uma única instância da classe.
- Definições ampliadas, que são acrescentadas pelos usuários finais.

Figura 22 - Árvore de Subtipos da classe de *Definição de Propriedades*, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

3.8.1. Classe IfcPropertyDefinition

Essa classe permite que a definição de uma outra classe dentro do Modelo IFC seja ampliada das seguintes maneiras:

1. Relacionando-a a um **tipo de objeto**, para o qual um **Conjunto de Propriedades** é definido. Isso é feito designando uma classe **IfcTypeObject** através da classe **IfcRelDefinesByType**. Por exemplo, pode haver uma classe chamada **IfcFan** (classe IFC de ventilador) definido formalmente dentro do modelo IFC. No entanto, os diferentes tipos de ventilador que podem existir como: axial de estágio único, axial de estágio múltiplo, centrífugo, propulsor, etc. não estão nesse modelo estaticamente definido. Estes, podem ser declarados como **tipos de um IfcFan** através de um **relacionamento de tipo** (**IfcRelDefinesByType**) anexado à classe **IfcFan**. Cada tipo de ventilador é incluído em uma enumeração de tipos de ventilador (chamada, por exemplo, **IfcNewFanTypeEnum**). Dessa forma, teremos uma classe **IfcFan** (**ventilador**, subtipo de **IfcObject** e **IfcProduct**) associada através do relacionamento por tipo **IfcRelDefinesByType** à classe **IfcFanType** (**tipo de ventilador**, subtipo de **IfcTypeObject**), que por sua vez possui um atributo genérico de tipo de objeto (chamado **FanType**, por exemplo) do tipo **IfcNewFanTypeEnum** (**enumeração de tipos de ventiladores** possíveis, subtipo de **IfcObjectTypeEnum**).
2. Compartilhando um conjunto padrão de valores definidos em um **IfcPropertySet** através da classe **IfcRelDefinesByProperties** entre as múltiplas instâncias daquela classe. Por exemplo: uma série padronizada de propriedades, com valores conhecidos, pode ser definida para auxiliar no acompanhamento da manutenção de ventiladores centrífugos. Essas propriedades serão aplicadas a todos ventiladores centrífugos.

3. Definindo diferentes valores de propriedades dentro de uma cópia individual do **IfcPropertySet** para cada instância daquela classe. Por exemplo: todos os ventiladores centrífugos liberam um volume de ar com uma determinada força. Apesar de que essa propriedade seja aplicada a todos os ventiladores centrífugos, os valores dados a ele podem ser diferentes para uma determinada instância.

Em resumo, essa classe permite: 1) tipificar um grupo de outras classes criando uma classe de tipo que contém as propriedades desse tipo; 2) caracterizar um grupo de outras classes diretamente através de uma relação de propriedades com valores fixos; 3) associar a um subgrupo de outras classes, propriedades com valores diferentes das do grupo, com o fim de diferenciar os objetos integrantes desse subgrupo.

3.8.2. Classe IfcPropertySetDefinition

Os *Conjuntos de Propriedades* que podem ser usados no Modelo IFC são definidos por subtipos da classe abstrata **IfcPropertySetDefinition**. Estes conjuntos podem ser definidos dinamicamente através da classe **IfcPropertySet** ou definidos estaticamente através de classe uma classe específica presente no modelo IFC como, por exemplo, **IfcManufactureInformation**.

3.8.2.1. Anexação de Definição de Conjuntos de Propriedades

A classe de relacionamento **IfcRelDefinesByProperties** é usada para anexar o **IfcPropertySetDefinition** a um objeto. Isso permite que o objeto e as definições de propriedades possam existir independentemente, e que o **IfcPropertySetDefinition** seja anexado ao objeto somente quando for necessário (EXPRESS-G na Figura 23).

Figura 23 - Anexação de *Definição de Conjuntos de Propriedades*, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC).

3.8.3. Classe IfcTypeObject

Quando vários *Conjuntos de Propriedades* trabalham ao mesmo tempo e precisam ser agrupados de alguma maneira, isso se faz através do **IfcTypeObject**. Ainda que seja possível atribuir vários *Conjuntos de Propriedades* individualmente, é preferível juntá-los em um agrupamento e associá-los através da classe **IfcTypeObject**.

Um objeto da classe **IfcTypeObject** pode atuar como um depósito de uma lista de definições de *Conjuntos de Propriedades* onde a lista é ordenada de forma a que cada *Conjunto de Propriedades* esteja na mesma localização relativa para cada instância do **IfcTypeObject** e não haja duplicação de *Conjuntos de Propriedades*. Um relacionamento inverso entre **IfcPropertySetDefinition** e o **IfcTypeObject** permite relacionar a definição de propriedades a um tipo de objeto dentro do qual ela está contida.

Cada **IfcTypeObject** tem um nome que o identifica, que provém do seu **IfcRoot**, e ele pode ser usado, por exemplo, no contexto de uma informação de biblioteca, como meio de aquisição de vários **Conjuntos de Propriedades** ao mesmo tempo, para atribuir eles a um objeto através do **IfcTypeObject**.

O atributo **ApplicableOccurrence** pode ser usado para restringir o **IfcTypeObject** no que diz respeito à classe dentro do Modelo IFC ao qual ele pode ser atribuído.

O atributo **Description**, que também provém do seu **IfcRoot**, pode ser usado para proporcionar mais informações narrativas, humanamente inteligíveis, sobre o tipo do objeto.

3.8.3.1. Anexação do IfcTypeObject

A anexação dos **IfcTypeObject** a um objeto é feita usando a classe de relacionamento **IfcRelDefinesByType**. Isso permite que o objeto (**IfcObject**) e o **IfcTypeObject** existam independentemente, e que o **IfcTypeObject** somente seja anexado quando necessário. Por esse mesmo motivo, é possível anexar o **IfcTypeObject** a um ou a muitos objetos.

3.8.4. Classe IfcRelOverridesProperties

Um **Conjunto de Propriedades** pode ser atribuído a vários objetos. No entanto, pode acontecer o caso em que o valor de algumas propriedades em um subconjunto dos objetos varie enquanto outros permaneçam constantes. Mais do que definir e atribuir novos **Conjuntos de Propriedades**, o Modelo de Objetos do IFC proporciona a capacidade de sobrepor essas propriedades cujos valores mudam. Isso é feito pela atribuição de um conjunto de propriedades de sobreposição que contém novos valores para aqueles que se modificaram.

3.8.5. Classe IfcTypeProduct

A classe **IfcTypeProduct** possibilita que uma classe **IfcPropertyDefinition** tenha uma ou mais representações de forma através do atributo **RepresentationMaps**. Esse atributo é do tipo **IfcRepresentationMap** que é a classe no esquema **IfcGeometryResource** que define um grupo de objetos geométricos que podem atuar conjuntamente, e esse grupo pode ser atribuído a vários objetos na forma de um símbolo ou um bloco em um sistema CAD.

3.8.6. Classe IfcPropertySet

A classe **IfcPropertySet** contém *Conjuntos de Propriedades*, que por sua vez são definidos externamente ao Modelo IFC na linguagem de definição de dados EXPRESS.

O Modelo IFC define internamente uma série de *Conjuntos de Propriedades*. A especificação de um *Conjunto de Propriedades* define a maneira segundo a qual a informação sobre as propriedades é mantida dentro de um arquivo completo de intercâmbio IFC ou dentro de um banco de dados compatível com o IFC.

Algumas características do **IfcPropertySet** são:

- contém um *Conjunto de Propriedades*. Deve haver pelo menos uma propriedade dentro de um *Conjunto de Propriedades*;
- possui um **Nome** que é um identificador usado para ser reconhecido, sendo um atributo de vital importância no contexto das definições industriais ou dos conjuntos de propriedades padronizados de projetos que podem ser usados por várias organizações;
- deve possuir uma **Descrição** que é uma narração humanamente inteligível que fornece algumas informações sobre o conjunto de propriedades.

3.8.7. Conceito de Definições de Propriedades Dinâmicas

O aspecto fundamental da classe **IfcProperty** é que ela contém um *Conjunto de Propriedades*. Deve haver pelo menos uma propriedade no conjunto, mas ele pode conter tantas propriedades quanto necessárias.

Uma propriedade pode ser:

- Um valor único, com ou sem unidade: **IfcPropertySingleValue**. É uma propriedade única que possui um par **name-value** ou uma tripla **name-value-unit**. A unidade (**unit**) é opcional.
- Uma enumeração de valores, com ou sem unidade: **IfcPropertyEnumeratedValue**. Permite a seleção de uma propriedade em uma lista predefinida de seleções. O valor atual é guardado pelo atributo **Enumeration value** e é selecionado de uma lista que é definida dentro de um objeto **IfcPropertyEnumeration**.
- Um valor de limite, com ou sem unidade: **IfcPropertyBoundedValue**.
- Uma faixa de valores, com ou sem unidade: **IfcPropertyTableValue**.
- Uma referência a um objeto: **IfcPropertyReferenceValue**.
- Uma propriedade complexa: **IfcComplexProperty**.

A classe **IfcProperty** é a abstração comum para todas as Propriedades definidas dentro do Modelo IFC. É um supertipo abstrato, significando que nunca existe um objeto **IfcProperty** somente, mas objetos que são subtipos do **IfcProperty**.

Cada instância do **IfcProperty** deve ter um **Nome** pelo qual é identificado.

Na medida em que as partes dinâmicas do Modelo IFC se ampliam, pretende-se que um dicionário de propriedades IFC padrão seja definido progressivamente. Naquelas propriedades usadas em **Conjuntos de Propriedades** que são publicadas como parte do Modelo IFC, as coincidências de nomes, de definições e de uso de unidades foram eliminadas. Novos **Conjuntos de Propriedades** devem procurar que não haja essa coincidência.

4. AMPLIAÇÃO DO MODELO IFC

A IAI fornece um guia para desenvolvimento de ampliações do modelo IFC onde se descrevem abordagens, métodos e regras que devem ser usados na elaboração da ampliação ([MODEL SUPPORT GROUP, 2001](#)). Seguindo esse guia, o modelo resultante usará as idéias e construções já existentes no Modelo IFC e ficará pré-integrado. A partir daí, o modelo ampliado deve ser submetido ao Grupo de Suporte do Modelo da IAI (*Model Support Group* - MSG) que deverá realizar a integração final garantindo a perfeita harmonia com o modelo IFC original juntamente com o comitê ITM (*International Technical Management*). Na Figura 24 é possível ver o caminho a ser percorrido por uma proposta de ampliação do modelo.

4.1. Abordagens do Desenvolvimento de Modelos Ampliados

Uma proposta de ampliação do modelo IFC deve ser baseada na análise do vazio que existe entre conceitos que precisam ser incorporados e os conceitos que já formam parte do modelo. Há três cenários que podem ser observados na análise dos vazios (Figura 25):

- Conceitos que existem no Modelo IFC.
- Conceitos que ampliam o Modelo IFC.
- Novos conceitos.

Figura 24 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto de extensão (fonte: documentação do IFC traduzido pelo autor)

Figura 25 - Conceitos analisados ao ampliar o Modelo IFC (desenhos do autor)

4.1.1. Conceitos existentes no Modelo IFC

Significa que as classes requeridas pelo desenvolvimento do modelo ampliado já existem no Modelo IFC, e os atributos dessas classes, capturam integralmente os requisitos de informações determinados pela extensão (Figura 26).

Outros requisitos de informações determinados pela ampliação são capturados por:

- **Conjuntos de Propriedades** adicionais;
- acordos de implementação (especificados localmente ou globalmente).

Figura 26 - Conceitos existentes no Modelo IFC (desenhos do autor)

4.1.2. Conceitos que ampliam o Modelo IFC

Significa que as classes requeridas pelo desenvolvimento do modelo ampliado já existem no Modelo IFC, mas precisam de uma ampliação para capturar integralmente os requisitos adicionais de informações (Figura 27).

Os novos requisitos de informações determinados pela ampliação são capturados por:

- **novas classes**, que são subtipos das classes existentes ou que são relacionadas às classes existentes;
- **Conjuntos de Propriedades** adicionais;
- acordos de implementação (especificados localmente ou globalmente).

Figura 27 - Conceitos que ampliam o Modelo IFC (desenhos do autor)

4.1.3. Novos conceitos

Significa que o desenvolvimento do modelo ampliado especifica requisitos de informações que não são capturados por classes na camada de interoperabilidade ou na camada de domínio dentro do Modelo IFC. Portanto, são necessárias especificações de novas classes que dão suporte para as idéias fundamentais dentro

da camada de Recursos (por exemplo: geometria, classificação, etc.) e da camada Central. As classes, relações e atributos dos novos conceitos precisam ser definidos integralmente, incluindo a conexão com as outras partes do Modelo IFC (Figura 28).

Os novos conceitos determinados pela ampliação são capturados por:

- **novas classes** que são subtipos das classes existentes;
- ***Conjuntos de Propriedades*** adicionais.

Figura 28 - Novos conceitos sobrepostos ao Modelo IFC (fonte: do autor)

4.2. Conexão do Modelo ampliado ao Modelo Existente

Há duas estratégias principais para conectar classes de um modelo ampliado a classes já existentes dentro do modelo IFC: **Subtipos** e **Relacionamentos**.

4.2.1. Subtipos

Gerar um **subtipo** como um caminho de ampliação significa criar uma nova classe dentro do modelo ampliado como um subtipo de uma classe do modelo existente.

Por exemplo, **IfcValve** é uma classe existente dentro do Modelo IFC que captura idéias sobre válvulas em geral. Em um modelo ampliado, pode existir a

necessidade de ampliar as idéias sobre válvulas e separar o conceito de uma válvula de isolamento e uma válvula de verificação. Isso é conseguido criando uma **CheckValve** e uma **IsolatingValve** como subtipos de **IfcValve**. Usando as regras de arquitetura do IFC, cada subtipo é exclusivo (UM DE). Isso significa que uma válvula de verificação não pode exercer o papel de uma válvula de isolamento e uma válvula de isolamento também não pode exercer o papel de uma válvula de verificação (Figura 29).

Um subtipo pode ser usado além dos limites do esquema, ou seja, o supertipo pode existir dentro de um esquema e os subtipos dentro de um outro esquema. Os subtipos referenciam-se aos supertipos dentro do seu esquema.

Figura 29 - Subtipos além dos limites do esquema, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

Outro termo usado para os subtipos é a herança, que significa que o subtipo herda todos os atributos (e restrições) do seu supertipo. Podem-se acrescentar novos atributos (não herdados) na medida em que forem necessários.

Por exemplo, se a classe **IfcValve** tem atributos: A, B e C, a **IsolatingValve** tem atributos acrescentados: D e E, e a **CheckValve** tem atributos: F e G, então:

- o total de atributos para a **IsolatingValve** é: A, B, C, D e E
- o total de atributos para a **CheckValve** é: A, B, C, F e G

As hierarquias de subtipos podem rapidamente ficar com muitos níveis. Mesmo que o Modelo IFC tenha sido projetado para limitar os níveis das hierarquias

dos subtipos, indicando que podem ir no máximo a seis classes de profundidade., os modelos de ampliação podem ir além dessa profundidade.

Quando se está desenvolvendo um modelo ampliado, a profundidade da hierarquia de subtipos e o número de atributos que são herdados precisam ser cuidadosamente monitorados.

Questões que podem surgir:

- Os atributos que são herdados são adequados ao objetivo que o modelo ampliado está tentando alcançar?
- Há muitos atributos ou muitos atributos que são desnecessários ou redundantes?

4.2.2. Relacionamentos

Os **Relacionamentos** descrevem uma associação entre classes. Um relacionamento pode ser **objetificado** significando que uma classe é inserida dentro de um relacionamento segundo uma razão específica. Uma classe que resulta de um **relacionamento objetificado** é chamada **classe de relacionamento** dentro do IFC.

Uma razão para acrescentar uma **classe de relacionamento** é resolver o relacionamento **muitos para muitos** entre duas classes. Relacionamentos **muitos para muitos** não podem ser facilmente manipulados. Ao acrescentar uma **classe de relacionamento**, o relacionamento é resolvido (Figura 30).

Figura 30 - Relacionamento muitos para muitos não resolvido. Ilustração e EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

Por exemplo, um espaço é delimitado por muitas paredes e uma parede pode ser considerada como delimitadora de muitos espaços. Isso é um relacionamento **muitos para muitos** o que significa que a área de uma parede em particular que delimita um espaço não pode ser identificada no modelo. Acrescentando uma ***classe de relacionamento*** (**RelParedeEspaço** no exemplo), isso é resolvido de forma que um objeto **RelParedeEspaço** “delimita” somente um espaço e é “parte de” somente uma parede (Figura 31).

Figura 31 - Classe de relacionamento resolvendo um relacionamento muitos para muitos.
Ilustração e EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

As **classes de relacionamento** são usadas extensivamente no Modelo IFC (Figura 32). Elas proporcionam um meio conveniente de:

- designar objetos a processos, produtos, controles, agentes, recursos ou grupos;
- definir objetos por propriedades ou tipo de objeto;
- associar classificações, documentos ou referências de bibliotecas com objetos;
- decompor objetos em relacionamentos todo/parte por agregação ou aninhamento;
- conectar objetos.

As **classes de relacionamento** proporcionam uma estratégia complementar para formar subtipos para ampliar o Modelo IFC. Em muitos casos,

isso é mais flexível, conveniente e efetivo. No Modelo IFC, usar uma classe de relacionamento normalmente significa que:

- a profundidade da hierarquia de subtipos para uma nova classe (e para a classe de relacionamento) é minimizada, uma vez que o supertipo de cada nova classe existirá mais perto do nível raiz do modelo;
- poderá haver mais controle dos atributos da classe, uma vez que o número de atributos herdados normalmente será significativamente menor;
- os atributos de um objeto não precisam ser declarados, a não ser que sejam absolutamente necessários, ou seja, enquanto o relacionamento não seja feito e a classe de relacionamento instanciada, a nova classe e os seus atributos não são usados.

Figura 32 - Classe de relacionamento de classes existentes como um atributo relacionado, em EXPRESS-G (fonte: documentação do IFC)

Quando uma estratégia de uso de uma classe de relacionamento é adotada, é necessário ter cuidado em determinar se uma classe de relacionamento apropriada já existe dentro do modelo IFC, ou se uma nova classe de relacionamento é necessária dentro do modelo ampliado.

O Modelo IFC já contém *classes de relacionamento* que cobrem muitas necessidades. Na maioria dos casos, se verificará que essas podem ser usadas diretamente. Sendo assim, não há necessidade de posterior elaboração de relacionamentos dentro do modelo ampliado. Criar novas classes de relacionamento

pode significar a redefinição do relacionamento entre as classes e, portanto, criar dificuldades de implementação.

Se houver necessidade de uma nova ***classe de relacionamento***, ela deve ser criada como um subtipo do **IfcRelationship** ou um dos seus subtipos primários. Para satisfazer seu uso como um meio de conectar um modelo ampliado, pelo menos um dos seus atributos (**se relaciona** ou **é relacionado**) deve apontar para uma classe já existente dentro do Modelo IFC.

4.3. Modelo Preliminar para ampliação do IFC

Um modelo ampliado compreende duas partes:

- Idéias dentro do modelo existente que preenchem total ou parcialmente os requisitos da matéria em estudo, e servem ao modelo ampliado,
- Idéias da matéria em estudo que não são servidas pelo modelo IFC existente.

Antes de começar a descobrir as idéias que não são cobertas pelo modelo existente, é importante estabelecer exatamente quais são cobertas. Para fazer isso se deve definir um ‘subconjunto’ do modelo existente. Isso pode ser feito em cinco estágios como se segue:

- Identificar ‘Classes Nós-folha’
- Identificar a Hierarquia das Classes
- Identificar Cadeias de Atributos
- Retirar Subtipos e Listas de Seleção que sobram
- Fechar as Cadeias de Atributos
- Identificar ***Conjuntos de Propriedades***

4.3.1. Identificação de Classes nós-folha

Nós-folha são as classes terminais dentro do Modelo IFC, ou seja, não há classes posteriores a uma classe nós-folha. Elas são fundamentalmente as classes de trabalho dentro do Modelo IFC.

Para estabelecer um subconjunto do modelo IFC, as classes nós-folha que são necessárias devem ser listadas. O exemplo dado abaixo é o subconjunto de **Gerenciamento de Mudanças**¹⁰ do Modelo IFC. Esse subconjunto servirá como uma visão de implementação preliminar para o modelo ampliado do Gerenciamento de Mudanças.

- IfcElectricalElement
- IfcEquipmentElement
- IfcEquipmentStandard
- IfcFurniture
- IfcFurnitureStandard
- IfcInventory
- IfcManufactureInformation
- IfcMove
- IfcRelAssignsFMStandard
- IfcRelAssignsTasks
- IfcSpace
- IfcSpaceStandard

¹⁰ No sentido de modificações feitas no leiaute dos locais de trabalho, por exemplo.

- `IfcSystemFurnitureElement`
- `IfcWorkPlan`
- `IfcWorkSchedule`

4.3.2. Identificação da hierarquia das Classes

Tendo identificado as classes nós-folha, a hierarquia das classes deve ser acompanhada até a classe raiz **IfcRoot** (Figura 33). A documentação do IFC é um auxílio valioso para fazer isso, já que cada entidade tem seu gráfico completo de heranças até o **IfcRoot**.

Figura 33 - Traçando a estrutura de heranças até o **IfcRoot** (fonte: documentação do IFC)

4.3.3. Identificação as cadeias de Atributos

A hierarquia de classes identifica a estrutura de heranças do subconjunto do modelo. No entanto, isso não cria um subconjunto completo, pois é necessário considerar os seus atributos.

Uma classe tem atributos que podem ser obrigatórios ou opcionais. Um atributo pode ser:

- Um tipo de dados simples
- Um tipo de dados definido
- Um tipo de dados de enumeração
- Um tipo de dados de seleção
- Outra classe

Cada um desses atributos usados por uma classe dentro da hierarquia deve ser incluído no subconjunto do modelo. Isso inclui tanto os atributos que são **obrigatórios** (devem ser designados) quanto os que são **opcionais** (podem ser usados no contexto do subconjunto).

Um atributo opcional que não é considerado necessário para o subconjunto não deve ser incluído. No entanto, uma vez que as linguagens de definição usadas para especificar a estrutura de intercâmbio têm necessidade de todos os atributos de uma classe, qualquer atributo que não é usado deve ser identificado como tal, relativo ao subconjunto do modelo, através de uma especificação ou por acordo de implementadores locais.

Uma vez que as classes da camada de **Recursos**, que deverão ser incluídas no subconjunto, não aparecem dentro da hierarquia de classes, chega-se a elas seguindo a cadeia dos atributos através do modelo.

4.3.3.1. Cadeia de Atributos ampliada

Quando uma classe é um atributo de uma outra classe, acrescenta-se um nível de complexidade no desenvolvimento do subconjunto do modelo. Isso acontece porque ela também terá atributos que devem ou podem ser designados. Assim sendo,

a cadeia de atributos ampliada deve ser seguida através do modelo até que o ponto final seja alcançado (Figura 34).

Figura 34 - Identificando cadeias de atributos. Informações apresentadas em Express (fonte: documentação do IFC)

4.3.4. Retirada de Subtipos e Listas de Seleção

Na medida em que as cadeias de classes são seguidas através do modelo, normalmente se verificará quais classes que possuem muitos subtipos serão necessárias para o subconjunto do modelo, ainda que nem todos os subtipos sejam necessários. Nesse caso, o subconjunto do modelo pode retirar a árvore do subtipo e dispensar os subtipos redundantes. Ele continuará a ser um subconjunto do modelo IFC.

A mesma situação pode ser encontrada com tipos de dados de seleção onde nem todos os ramos da árvore de seleção serão necessários. Novamente, eles podem ser eliminados de forma que somente aqueles ramos da árvore de seleção necessários sejam incluídos no subconjunto.

O diagrama da Figura 35 mostra como o supertipo **IfcElement** usa somente os subtipos **IfcBuildingElement**, **IfcFurnishingElement**, **IfcElectri-**

calElement, IfcEquipmentElement, enquanto que o IfcBuildingElement, ainda que tenha uma longa lista de subtipos possíveis, somente requer a inclusão do subtipo IfcBuildingElementProxy dentro do subconjunto.

Figura 35 - Extraíndo listas de subtipos. Informações em EXPRESS (fonte: documentação do IFC)

4.3.5. Fechamento das cadeias de Atributos

Nem todos os atributos opcionais de uma classe serão necessários para o subconjunto do modelo. De fato, seguir cada atributo opcional através do modelo poderá simplesmente fazer com que o subconjunto se pareça praticamente o mesmo que o modelo completo em muitos casos. O objetivo do subconjunto do modelo não é esse e não é o que se espera ao desenvolver um modelo ampliado.

Dentro da documentação para o **modelo ampliado final**, cada atributo opcional deve ser identificado se é obrigatório ou não. Para atributos que não são obrigatórios, as implementações do modelo ampliado criam essencialmente um acordo para identificar como os atributos aparecerão em um intercâmbio. Em um arquivo físico STEP isso será feito usando o caractere \$.

Em EXPRESS e XML, se podem incorporar comentários no arquivo. É recomendado que os comentários sejam usados em conjunto com atributos não obrigatórios pelo modelo ampliado. Por exemplo, em EXPRESS isso pode ficar dessa forma:

(* attribute not supported in extension model *)

4.3.6. Identificação dos Conjuntos de Propriedades

Tendo completado o desenvolvimento do subconjunto do modelo ampliado em EXPRESS, os **Conjuntos de Propriedades** existentes que são requeridos pelo modelo ampliado também devem ser identificados. Os **Conjuntos de Propriedades** são partes integrantes do Modelo IFC e isso se aplica igualmente ao modelo ampliado.

4.4. Novas Classes a partir de Classes existentes

Dentro do Modelo IFC, cada classe **deve** ter um supertipo que em última instância se dirige ao **IfcRoot**. Isso é assim porque o **IfcRoot** proporciona uma quantidade de serviços básicos para todas as classes, como, por exemplo, o identificador único para cada instância de uma classe (Figura 36).

Figura 36 - **IfcRoot** como um supertipo comum (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

As classes que existem na **camada de Recursos** da Arquitetura Técnica do IFC são uma exceção. A razão disso é que as instâncias dessas classes somente existem como atributos de instâncias das classes de outras camadas da Arquitetura Técnica do IFC. Por causa dessa ‘dependência de existência’ a identificação de uma **classe de Recursos** é conseguida em virtude da identificação de uma classe da qual depende a sua existência.

4.5. Novas Classes no Esquema de Extensão

O objetivo final do desenvolvimento de um **modelo ampliado** é conter novas classes dentro de um ou mais (normalmente um) novo **Esquema**. Esse é o módulo que contém todas as idéias que são (atualmente) únicas para os temas em questão.

4.6. Modificações em Classes existentes

A arquitetura técnica para o Modelo IFC identifica um **Esquema** como existente em três estados:

- dentro **Plataforma** do Modelo IFC;
- fora da **Plataforma** do modelo IFC, mas **é** um candidato à inclusão;
- fora da **Plataforma** do modelo IFC, e **não é** um candidato à inclusão.

Os **Esquemas** que estão dentro da Plataforma não podem ser alterados de forma a tornar o arquivo de intercâmbio inválido. Isso é menos restritivo para os **Esquemas** que são candidatos à inclusão dentro da Plataforma. Para **Esquemas** que não estão dentro da Plataforma e não são ainda candidatos para inclusão, mudanças grandes são possíveis.

4.6.1. Acréscimo de Regras

As regras podem ser incorporadas dentro do esquema de definição EXPRESS, mas não são visíveis em um arquivo físico de intercâmbio. Assim sendo,

é possível acrescentar regras a classes existentes para ganhar qualidade de troca de dados sem gerar impactos nos arquivos de intercâmbio previamente gerados.

4.6.2. Acréscimo de Atributos Inversos

Um atributo inverso pode ser acrescentado a uma classe sem gerar impactos nos arquivos de intercâmbio gerados previamente desde que um atributo inverso não seja visível no arquivo de intercâmbio físico. No entanto, isso deve ser feito com cuidado uma vez que um atributo existente somente pode ser invertido se não houver um impacto no intercâmbio.

4.6.3. Modificações não permitidas

As seguintes modificações aos atributos **não** devem ser feitas por um projeto a nenhum esquema IFC publicado; de outra forma arquivos de intercâmbio previamente gerados não serão válidos:

- nomes de atributos não podem ser modificados;
- tipos de dados de um atributo não podem ser modificados;
- a cardinalidade de um atributo não pode ser modificada;
- a ordem que os atributos aparecem não pode ser modificada;
- atributos não podem ser acrescentados;

As propostas de mudanças de qualquer classe que não esteja dentro da Plataforma IFC podem ser feitas ao MSG.

4.7. Reutilização de Atributos e Propriedades

Em muitos casos, quando um ***atributo*** está para ser acrescentado a uma ***classe*** ou uma ***propriedade*** a um ***conjunto de propriedades***, se encontrará o mesmo ou similar ***atributo*** ou ***propriedade*** já especificado para o

uso em algum lugar dentro do Modelo IFC. O uso prévio será bem definido e documentado.

A não ser que haja um bom motivo em contrário, os desenvolvimentos do modelo ampliado devem tentar usar os mesmos nomes de atributos e definições que já existem dentro do Modelo IFC para expressar a mesma ou similar idéia. Isso minimiza o conflito e a confusão para organizações que implementarão o modelo ampliado.

4.8. Definições de Uso

Em muitos casos, uma vez que a informação pode ser proporcionada em termos de atributos, pode não ser possível, dentro de uma definição formal de uma classe, ser suficientemente claro sobre como aquela informação deve ser interpretada pelas implementações de software. Nesses casos, é necessário fornecer uma documentação que torne clara qual é a interpretação exata desejada. Isso deve ser feito proporcionando definições de uso para a classe. Definições de uso podem ser particularmente importantes para interpretação geométrica, mas podem ser também importantes para guiar claramente os desenvolvedores de software na interpretação de informações não geométricas.

Por exemplo, dentro do Modelo IFC há uma tipo de dados **IfcLenghtMeasure** que é definido como ‘Uma medida de comprimento cujo valor é uma distância’. Em geral, comprimento é interpretado como uma distância medida ao longo do eixo X para um sistema de coordenadas que foi orientado localmente ao objeto. Da mesma forma, profundidade ou largura pode ser interpretada como uma distância medida ao longo do eixo Y e altura como uma distância medida ao longo do eixo Z. Para ser claro sobre o quê esses termos significam no contexto de um objeto em particular, é necessário um entendimento comum de como o sistema de coordenadas local para o objeto é interpretado (Figura 37).

Figura 37 - Interpretação do sistema de coordenadas (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

O exemplo acima mostra que ao posicionar e orientar o sistema de coordenadas local diferentemente, o significado dos termos “comprimento” e “largura” pode variar. Na prática isso pode significar, por exemplo, uma viga orientada a 90 graus da posição desejada.

4.9. Conjunto de Propriedades

O número de tipos diferentes de objetos que podem ocorrer dentro do ambiente de AEC/GF é enorme. É virtualmente impossível desenvolver um modelo que possa conter uma descrição completa de cada um desses tipos de objeto. No entanto, é possível desenvolver um modelo que proporciona uma infra-estrutura das idéias-chave dentro de AEC/GF e então proporcionar a possibilidade de que o modelo seja ampliado através de acordos de projeto, acordos locais, nacionais ou regionais. No IFC, os **Conjuntos de Propriedades** proporcionam a capacidade de ampliação do modelo.

O Modelo IFC desenvolve as idéias até os “nós-folha”. Um “nó-folha” é um conceito semântico generalizado (não individualizado, não instanciado), como “porta”, “janela”, “viga”, “coluna”, etc. Os **atributos** principais que definem o conceito generalizado são definidos no nível da classe, dentro do Modelo IFC.

Acima das classes nós-folha, ou seja, em um nível maior de especificação, os próximos desenvolvimentos do modelo são feitos através dos **Conjuntos de Propriedades**. Ainda que um **Conjunto de Propriedades** possa ser especificado dentro do modelo, é mais normal que ele seja desenvolvido fora do modelo (Figura 38) (ADACHI, 2001).

Figura 38 - Classes 'nós-folha' (fonte: documentação do IFC adaptada pelo autor)

Um **Conjunto de Propriedades** IFC é um recipiente que contém coleções (ou conjuntos) de propriedades. A classe **IfcPropertySet** define uma infra-estrutura dentro da qual as propriedades podem ser declaradas. Dentro de uma infra-estrutura, qualquer propriedade que se conforma com um dos **tipos de propriedades** permitidos pode ser incluída. Não há limites para o número de propriedades que podem ser definidas dentro de um **Conjunto de Propriedades**.

Os **tipos de propriedades** que podem aplicar-se às propriedades contidas dentro de um **Conjunto de Propriedades** são:

- um valor singular (com ou sem unidades);

- um valor dentro de uma determinada faixa, com um limite superior e um limite inferior (com ou sem unidades);
- um valor retirado de uma lista de valores possíveis dos quais somente um valor pode ser usado;
- valores que podem variar de acordo com o valor de um outro parâmetro; os valores permitidos são expressos em uma tabela;
- listas complexas de outras propriedades;
- referências a objetos dentro da camada de recursos (cuja existência é dependente da existência do *Conjunto de Propriedades*).

Os *Conjuntos de Propriedades* são inicialmente escritos em PSD (*Property Set Definition language*), que por sua vez é um esquema cuja codificação na linguagem XML (*eXtensible Markup Language*), ou seja, são descrições que seguem esse formato padrão de intercâmbio de informações, segundo características próprias do IFC.

Um exemplo de *Conjunto de Propriedades* é o **Pset_LightFixture-TypeCommon**, publicado na documentação do IFC 2x2 (2004), cujo XML é:

```
<?xml version="1.0"?>
<?xml-stylesheet type="text/xsl" href=" ../PSD_R2x2.xsl"?>

<PropertySetDef>

  <IfcVersion version="2x2" projectcode="EL1" date="2002/07/26" author="kenneth.solvik@dds.no"
domain="Electrical" schema="IfcElectricalDomain"/>

  <Name>Pset_LightFixtureTypeCommon</Name>
  <Definition>Definition from IAI: Common data for light fixtures.</Definition>
  <Applicability>IfcLightFixtureType entity.</Applicability>
  <ApplicableClasses><ClassName>IfcLightFixtureType</ClassName></ApplicableClasses>
  <ApplicableTypeValue></ApplicableTypeValue>

<PropertyDefs>

  <PropertyDef>
    <Name>NumberOfSources</Name>
    <PropertyType><TypePropertySingleValue><DataType
type="IfcInteger"/></TypePropertySingleValue></PropertyType>
    <ValueDef>
```



```

    <Definition>Number of sources</Definition>
  </PropertyDef>

  <PropertyDef>
    <Name>TotalWattage</Name>
    <PropertyType><TypePropertySingleValue><DataType type="IfcPowerMeasure"/><UnitType
type="POWERUNIT"/></TypePropertySingleValue></PropertyType>
    <ValueDef/><Definition>Wattage on whole lightfitting device with all sources intact.</Definition>
  </PropertyDef>

  <PropertyDef>
    <Name>LightFixtureMountingType</Name>
    <PropertyType><TypePropertyEnumeratedValue><EnumList
name="PEnum_LightFixtureMountingType">
    <EnumItem>CableSpanned</EnumItem>
    <EnumItem>FreeStanding</EnumItem>
    <EnumItem>Pole_Side</EnumItem>
    <EnumItem>Pole_Top</EnumItem>
    <EnumItem>Recessed</EnumItem>
    <EnumItem>Surface</EnumItem>
    <EnumItem>Suspended</EnumItem>
    <EnumItem>TrackMounted</EnumItem>
    <EnumItem>Other</EnumItem>
    <EnumItem>NotKnown</EnumItem>
    <EnumItem>Unset</EnumItem>
    </EnumList></TypePropertyEnumeratedValue></PropertyType>
    <ValueDef><MinValue value=""/><MaxValue value=""/></ValueDef>
    <Definition>A list of the available types of mounting for light fixtures from which that required may
be selected.</Definition>
  </PropertyDef>

  <PropertyDef>
    <Name>LightFixturePlacingType</Name>
    <PropertyType><TypePropertyEnumeratedValue><EnumList
name="PEnum_LightFixturePlacingType">
    <EnumItem>Ceiling</EnumItem>
    <EnumItem>Floor</EnumItem>
    <EnumItem>Furniture</EnumItem>
    <EnumItem>Pole</EnumItem>
    <EnumItem>Wall</EnumItem>
    <EnumItem>Other</EnumItem>
    <EnumItem>NotKnown</EnumItem>
    <EnumItem>Unset</EnumItem>
    </EnumList></TypePropertyEnumeratedValue></PropertyType>
    <ValueDef><MinValue value=""/><MaxValue value=""/></ValueDef>
    <Definition>A list of the available types of placing specification for light fixtures from which that
required may be selected.</Definition>
  </PropertyDef>

  <PropertyDef>
    <Name>MaintenanceFactor</Name>
    <PropertyType><TypePropertySingleValue><DataType
type="IfcReal"/></TypePropertySingleValue></PropertyType>
    <ValueDef/>
    <Definition>Maintenance factor.</Definition>
  </PropertyDef>

```

```

    <PropertyDef>
      <Name>ManufacturersSpecificInformation</Name>
      <PropertyType><TypePropertySingleValue><DataType
type="IfcText"/></TypePropertySingleValue></PropertyType>
      <ValueDef/>
      <Definition>Manufacturer specific information.</Definition>
    </PropertyDef>

    <PropertyDef>
      <Name>ArticleNumber</Name>
      <PropertyType><TypePropertyReferenceValue reftype="IfcClassificationReference"/></PropertyType>
      <ValueDef/>
      <Definition>The article number.</Definition>

  </PropertyDef>

</PropertyDefs>

</PropertySetDef>

```

Nessa codificação XML podem ser identificadas as definições das propriedades (**PropertyDef**) desse conjunto. Nesse caso as propriedades são: Número de Fontes (**NumberOfSources**), Potência Total (**TotalWattage**), Tipo de Montagem da Fixação de Luz (**LightFixtureMountingType**), Tipo de Posicionamento da Fixação de Luz (**LightFixturePlacingType**), Fator de Manutenção (**MaintenanceFactor**), Informação Específica do Fabricante (**ManufacturersSpecificInformation**), Numero do Artigo (**ArticleNumber**), os respectivos *tipos das propriedades* (**PropertyType**), conforme as definições do modelo IFC, os *tipos de dados* (**ValueDef**) que as propriedades podem assumir, também conforme as definições do modelo IFC, e a descrição em linguagem comum do que representa a propriedade (**Definition**).

Depois de ligado ao gabarito (no caso, PSD_R2x2.xsl), o XML pode ser visto em um programa comum de acesso à Internet, e fica com a apresentação mostrada na Figura 39.

Figura 39 - Apresentação do XML de um *Conjunto de Propriedades* no Programa de acesso à Internet (fonte: captura de imagem da documentação do IES)

Para que esse *Conjunto de Propriedades* possa ser analisado e testado, o próximo passo é fazer a especificação no IFC, que significa traduzir essa descrição para um novo formato (EXPRESS) que será o que efetivamente será usado no intercâmbio de dados.

Como essas propriedades são instâncias de **IfcPropertySet** e **IfcProperty**, então o EXPRESS se apresentará seguindo o esquema desses objetos:

```
ENTITY IfcPropertySet
  SUBTYPE OF (IfcPropertySetDefinition);
  HasProperties : SET [1:?] OF IfcProperty;
  WHERE
    WR31 : EXISTS(SELF\IfcRoot.Name);
    WR32 : IfcUniquePropertyName(HasProperties);
END_ENTITY;
```

```
ENTITY IfcProperty
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF (IfcComplexProperty, IfcSimpleProperty));
  Name : IfcIdentifier;
  Description : OPTIONAL IfcText;
```

```

INVERSE
  PropertyForDependence : SET [0:?] OF IfcPropertyDependencyRelationship FOR DependingProperty;
  PropertyDependsOn : SET [0:?] OF IfcPropertyDependencyRelationship FOR DependantProperty;
  PartOfComplex : SET [0:1] OF IfcComplexProperty FOR HasProperties;
END_ENTITY;

```

ENTITY IfcComplexProperty

```

SUBTYPE OF (IfcProperty);
  UsageName : IfcIdentifier;
  HasProperties : SET [1:?] OF IfcProperty;
WHERE
  WR21 : SIZEOF(QUERY(temp <* HasProperties | SELF := temp)) = 0;
  WR22 : IfcUniquePropertyName(HasProperties);
END_ENTITY;

```

ENTITY IfcSimpleProperty

```

ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF
  (IfcPropertyBoundedValue, IfcPropertyEnumeratedValue, IfcPropertyListValue,
IfcPropertyReferenceValue, IfcPropertySingleValue, IfcPropertyTableValue))
SUBTYPE OF (IfcProperty);
END_ENTITY

```

O teste é feito principalmente comparando-se o novo **Conjunto de Propriedades** com os existentes, ajustando-se as classes.

Espera-se que os novos **Conjuntos de Propriedades** reutilizem os **Conjuntos de Propriedades** predefinidos e as definições de propriedades já existentes. Quando isso não é possível, propõem-se novos **Conjuntos de Propriedades** e novas definições de propriedades.

Utilizam-se as folhas de trabalho fornecidas pelo IFC para submeter ao MSG e o MSG, depois de fazer a integração com o IFC, o publica nesse formato também (Figura 40).

	A	B	C	D
1	IFC Property Set Definition Worksheet			
2				IAI Model Supprt Group 2001-2002
3	PSD File Name	Pset_LightFixtureTypeCommon.xml		
4	Property Set Name	Pset_LightFixtureTypeCommon		
5	Applicability	IfcLightFixtureType entity.		
6	Applicable Classes	IfcLightFixtureType		
7	Applicable Type Value			
8	IFC Version	2x2		
9	Definition	Definition from IAI: Common data for light fixtures.		
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18	Property Name	Property Type	Data / Enum / Reference Type	
19	NumberOfSources	IfcPropertySingleValue	IfcInteger	
20	TotalWattage	IfcPropertySingleValue	IfcPowerMeasure	

Figura 40 - Folha de Trabalho do Conjunto de Propriedades (fonte: captura de imagem da documentação do IES)

4.9.1. Ocasões para o uso de um Conjunto de Propriedades

Essencialmente, um *Conjunto de Propriedades* do IFC é uma coleção de propriedades que determina em última instância, *tipos de dados* simples da linguagem EXPRESS (**REAL**, **INTEGER**, **STRING**, etc.).

Algumas circunstâncias nas quais pode ser mais apropriado considerar o uso de um *Conjunto de Propriedades* do que definir uma classe com atributos dentro do Modelo IFC são:

- quando uma classe tem muitas propriedades que são *tipos de dados* simples;
- quando as propriedades podem ser agrupadas de maneira a expressar requisitos funcionais (por exemplo, expressar diferentes níveis de necessidade de dados conforme os estágios do ciclo de vida da

edificação, ou seja, na medida em que se vá mudando o estágio do ciclo de vida, outros **Conjuntos de Propriedades** vão sendo necessários) e quando possa existir a necessidade de usar a mesma propriedade repetidamente em vários **Conjuntos de Propriedades**, ou seja, um mesmo **Conjunto de Propriedades** pode ser associado a várias outras classes;

- quando as propriedades podem ser usadas em uma visão particular, assunto, fase do ciclo de vida ou outro objetivo do subconjunto das descrições do objeto, ou seja, quando essas propriedades agrupadas em um conjunto só seriam utilizadas em uma determinada etapa;
- quando as propriedades podem ser usadas em ampliações regionais, em acréscimo às especificações internacionais do IFC, não havendo necessidade de que o modelo básico (Plataforma) as contenha.

4.9.2. Procedimentos para a definição de um Conjunto de Propriedades

Ao definir um **Conjunto de Propriedades** devem-se seguir os seguintes procedimentos:

1. Procurar um **Conjunto de Propriedades** predefinido que possa ser reutilizado.
2. Definir a especificação. O **Conjunto de Propriedades** deve ter um nome (**Name**), uma conexão a uma classe IFC específica (**TypedClass**) e um tipo predefinido (**TypeName**).
3. Procurar uma propriedade predefinida que possa ser reutilizada.
4. Definir uma nova proposta de propriedade. Essa propriedade deve possuir um dos tipos previstos pelo IFC: um valor simples (com ou sem unidade), uma enumeração de valores (com ou sem unidade), um valor limítrofe (com ou sem unidade), uma lista de valores (com ou sem unidade), uma

faixa de valores (com ou sem unidade), uma referência a um objeto, uma propriedade complexa.

5. Propor ao MSG

4.9.3. Definição básica do Conjunto de Propriedades

As características básicas de um *Conjunto de Propriedades* são as seguintes:

1. **Nome.** Deve ser único e significar com clareza a sua finalidade. Por exemplo: **Pset_CableSegmentTypeCableSegment**, é o nome de um *Conjunto de Propriedades* com dados sobre um segmento de cabo de força.
2. **Tipificador ou Não Tipificador:** indica se o *Conjunto de Propriedades* está conectado ou não a uma classe, ajudando a caracterizar (ou tipificar) essa classe. No caso do **Pset_CableSegmentTypeCableSegment**, ele está conectado à classe de tipo de cabo de força **IfcCableSegmentType**, tipificando essa classe através do seu atributo **PredefinedType** que possui um valor selecionado da classe de enumeração **IfcCableSegmentTypeEnum** que é uma lista de tipos de segmento de cabo de força. Um dos valores dessa lista é **CABLESEGMENT**, que por sua vez possui características (ou propriedades) agrupadas no *Conjunto de Propriedades* chamado **Pset_CableSegmentTypeCableSegment**.
3. **TypedClass (ou Applicable Classes):** é a classe de tipo que o *Conjunto de Propriedades* vai especificar. No exemplo do **Pset_CableSegmentTypeCableSegment**, essa classe é **IfcCableSegmentType**.
4. **TypedName:** é a enumeração de tipo que está relacionada com o **PredefinedType**. No exemplo do **Pset_CableSegmentTypeCable-**

Segment essa enumeração é a classe **IfcCableSegmentTypeEnum**. Um dos valores dessa enumeração pode ser especificado como o valor aplicável (**Applicable Type Value**), que no caso do exemplo é **CABLESEGMENT**.

5. **Definição:** é um texto que explica o **Conjunto de Propriedades**.

No caso do exemplo, o texto é: “Definição da IAI: Cabo elétrico com o propósito específico de levar a corrente elétrica dentro de um circuito para qualquer outro dispositivo elétrico. Incluem-se todos os tipos de cabos elétricos, principalmente vários segmentos emendados, por exemplo, cabos, tubos, barramentos. Note-se que o número de condutores dentro de um cabo é determinado por um mecanismo de agregação que junta os condutores dentro de um cabo.”¹¹

6. **Definição das propriedades.** Dentro de um **Conjunto de Propriedades** deve haver pelo menos uma propriedade. No caso do exemplo, o **Pset_CableSegmentTypeCableSegment** contém propriedades como: área da seção, comprimento nominal, largura ou diâmetro nominal, altura nominal, temperatura normal de operação, temperatura máxima de operação, material de isolamento do cabo, cor da capa de revestimento (**CrossSectionalArea**, **NominalLength**, **NominalWidthOrDiameter**, **NominalHeight**, **NormalOperatingTemperature**, **MaxOperatingTemperature**, **CableInsulationMaterial**, **SheathColor**).

4.9.4. Definição básica das Propriedades

As propriedades são definidas basicamente pelos seguintes itens:

¹¹ “Definition from IAI: Electrical cable with a specific purpose to lead electric current within a circuit or any other electric construction. Includes all types of electric cables, mainly several electrical segments wrapped together, e.g. cable, tube, busbar. Note that the number of conductors within a cable is determined by an aggregation mechanism that aggregates the conductors within the cable.”

1. **Nome.** Deve-se procurar um nome que não foi usado em outros *Conjuntos de Propriedades*.
2. **Tipo de Propriedade.** Se não existir um tipo de propriedade já definida, então escolher entre: `IfcPropertySingleValue`, `IfcPropertyBoundedValue`, `IfcPropertyEnumeratedValue`, `IfcPropertyTableValue`, `IfcPropertyReferenceValue` e `IfcComplexProperty`.
3. **Tipo de dados.** O tipo de dados que o tipo de propriedade vai assumir. Por exemplo, para a propriedade do tipo `IfcPropertySingleValue` o tipo de dado pode ser `IfcInteger`.
4. **Definição.** Um texto explicativo.

4.10. Lista de verificação da ampliação do IFC

A lista seguinte permite a verificação do desenvolvimento do modelo ampliado no que diz respeito às regras que geralmente são aplicadas ao desenvolvimento do esquema do Modelo IFC. ([MODEL SUPPORT GROUP, 2001](#))

1. Todos os nomes de *Esquemas*, classes, *Conjuntos de Propriedades*, relacionamentos, enumerações, tipos de seleção, tipos de dados definidos, atributos, funções e regras estão escritos em letras maiúsculas e minúsculas como um nome único sem espaços em branco?
2. O primeiro caractere de cada palavra em um nome é escrito com letras maiúsculas. Todos os outros caracteres que formam parte da mesma palavra no uso normal são escritos em letras minúsculas?
3. Nomes de esquemas, classes, enumerações, tipos de seleção, tipos de dados definidos e funções possuem o prefixo `Ifc` para identificar seu uso dentro do Modelo IFC?

4. Os **Esquemas** são identificados com a camada dentro da Arquitetura Técnica IFC na qual eles existem como parte do nome do **Esquema**?
5. Os nomes de todos os tipos de dados de enumeração possuem o sufixo **Enum**?
6. Tipos de dados de enumeração usados para especificar a existência de **Conjuntos de Propriedades** dirigidas a tipos possuem o sufixo **TypeEnum**?
7. Os nomes de todos os tipos de dados de seleção possuem o sufixo **Select**?
8. Os nomes das classes (não as classes de relacionamento) são substantivos ou combinação de substantivos denotando o **conteúdo** ou o **tipo** da classe?
9. Os nomes das classes de relacionamento contêm o termo **Rel** seguindo o prefixo **Ifc** e antes do nome do **conteúdo** da classe?
10. Os nomes dos **conteúdos** das classes de relacionamento são verbos que denotam a sua **função**?
11. Os nomes dos **Conjuntos de Propriedades** possuem o prefixo **Pset**?
12. Cada subtipo é uma especialização de exatamente **um** supertipo? (herança simples).
13. Cada supertipo está restringido de forma a que só possa ser instanciado **exclusivamente** por um dos seus subtipos?
14. Os **relacionamentos de agregação** (**LIST**, **SET**, **BAG**), que podem ser vazios, são definidos como relacionamentos opcionais com a cardinalidade de **uma para muitos**?
15. Relacionamentos entre as classes de diferentes **Esquemas** são gerenciados pelas **classes de relacionamento**?
16. Não há relações **muitos para muitos** usadas dentro do modelo ampliado?

17. As classes **só** referenciam ou usam classes no mesmo ou em nível abaixo dentro da Arquitetura Técnica IFC?
18. As classes **não** referenciam ou usam as classes que estão em níveis superiores na Arquitetura Técnica IFC?
19. Os atributos de uma classe aparecem na mesma ordem que estavam em qualquer versão prévia do modelo?

5. DADOS PREVISTOS NOS PADRÕES DE INTERCÂMBIO DE DADOS DE LUMINÁRIAS

Hoje em dia, é muito comum que as luminárias sejam tecnicamente descritas pelos próprios fabricantes através de uma descrição ampla das luminárias proposta pela IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) (IESNA, 2002), conhecida como IES LM-63. Atualmente essa descrição é muito utilizada em aplicações voltadas para o cálculo luminotécnico e para catalogação e classificação de luminárias como, por exemplo, os programas *Visual*, *Photometric Viewer 3.0* ((<http://www.acuitybrandslighting.com/lightware/Software/Visual/>; http://www.acuitybrandslighting.com/lightware/Software/Photometric_Viewewer/) da *Lithonia Lighting*, ou o *IES Viewer* de *Andrey Legotin*. Mesmo no Brasil os fabricantes de luminárias já utilizam habitualmente essa descrição como, por exemplo, as luminárias da empresa *lustres PROJETO* (<http://www.lustresprojeto.com.br/index.html>).

Para elaborar uma proposta de ampliação do IFC, serão utilizadas as definições já presentes no modelo e a contribuição de estudos feitos para chegar ao formato IES LM-63. Existem outros padrões para dados fotométricos que também foram utilizados no estudo dessa proposta, mas a base é o IES LM-63, pelo fato de ele ser mais recente e de ser mais popular (ASHDOWN, 2001).

5.1. IES LM-63

Esse é o único formato de arquivo de dados sobre luminárias usado na América do Norte (ASHDOWN, 2001). Surgiu em 1986 com a Publicação IES LM 63-1986, "*IES Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data*" (Padrão Recomendado de Formato de Arquivo para Transferência de Dados Fotométricos) (IESNA, 1986). Foi revisado em 1991 (IESNA, 1991) e em 1995 (IESNA, 1995) (ASHDOWN, 1998). A versão atual aceita e aprovada como um

padrão ANSI (*American National Standards Institute*) é de Agosto de 2002.¹² (IESNA, 2002).

A Tabela 1 resume as informações apresentadas nesse formato. Trata-se de um arquivo texto seguindo o padrão ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) e que adota uma estrutura bem determinada.

Tabela 1 - Campos do formato LM-63

Descrição de identificação	
00	IESNA:LM-63-2002
01	<Palavra-chave 1>
02	<Palavra-chave 2>
03	...
04	<Palavra-chave n>
05	TILT=<nome do arquivo> ou <INCLUDE> ou <NONE>
06	<geometria de lâmpada-luminária>
07	<número de ângulos de inclinação e fatores multiplicadores>
08	<ângulos de inclinação>
09	<fatores multiplicadores>
10	<nº de lâmpadas> <lúmens por lâmpada> <multiplicador candela> <nº de ângulos verticais> <nº de ângulos horizontais> <tipo fotométrico> <tipo de unidade> <largura> <comprimento> <altura>
11	<fator do reator> <fator fotométrico lâmpada-reator / uso futuro> <potência de entrada - watts>
12	<ângulos verticais>
13	<ângulos horizontais>
14	<valores candela para todos os ângulos verticais no primeiro ângulo horizontal>
15	<valores candela para todos os ângulos verticais no segundo ângulo horizontal>
16	...
17	<valores candela para todos os ângulos verticais no n-ésimo ângulo horizontal>

A seguir é mostrado um exemplo desses arquivos, cedido pelo fabricante, para uma luminária comercial modelo *Formed Brass Housing/Reflector, Clear Glass Enclosure with Frosted Sections*, da *Rejuvenation Lamp & Fixture Company*:

```
IESNA:LM-63-2002
[TEST] 08079
[TESTLAB] LUMINAIRE TESTING LABORATORY, INC.
[ISSUE DATE] 05-03-2004
[MANUFAC] REJUVENATION LAMP & FIXTURE COMPANY
[LUMCAT] W285 OTIS
[LUMINAIRE] FORMED BRASS HOUSING/REFLECTOR, CLEAR GLASS ENCLOSURE WITH
[MORE] FROSTED SECTIONS.
[LAMP] ONE VBD 13 WATT DOUBLE TUBE COMPACT FLUORESCENT LAMP RATED AT
```

¹² A Publicação BSR/IESNA LM-63-2002 está disponível na Illuminating Engineering Society of North America (www.iesna.org).

[MORE] 800 LUMENS.
 [LAMPCAT] SYLVANIA CF13DD/E/835
 [BALLAST] ONE ADVANCE RMB-1P13-S1
 [OTHER] MOUNTING: WALL
 TILT=NONE
 1 800. 1.0 73 9 1 1 0.35 0.24 0.53
 1.0 1.0 12.
 0 2.5 5 7.5 10 12.5 15 17.5 20 22.5 25 27.5 30 32.5 35 37.5 40 42.5 45 47.5 50
 52.5 55 57.5 60 62.5 65 67.5 70 72.5 75 77.5 80 82.5 85 87.5 90 92.5 95 97.5
 100 102.5 105 107.5 110 112.5 115 117.5 120 122.5 125 127.5 130 132.5 135
 137.5 140 142.5 145 147.5 150 152.5 155 157.5 160 162.5 165 167.5 170 172.5
 175 177.5 180
 0 22.5 45 67.5 90 112.5 135 157.5 180
 0 1 3 4 5 6 7 9 10 11 13 15 17 19 21 24 27 30 33 36 40 43 47 50 53 56 58 61 63
 64 66 67 68 69 69 69 70 69 69 68 67 66 64 62 60 58 56 53 50 46 43 39 36 32 29
 26 23 20 18 15 14 12 10 9 8 7 6 5 4 4 3 2 0
 0 1 3 5 6 7 8 9 11 12 14 16 18 20 22 25 28 31 34 38 42 46 49 53 57 60 64 67 69
 72 74 76 77 78 78 79 79 78 77 76 75 73 70 68 65 62 59 55 51 47 43 39 35 31 28
 25 22 19 17 15 13 12 10 9 8 7 6 5 5 4 3 1 0
 0 1 3 4 6 7 8 9 10 12 13 15 17 19 21 23 25 28 30 33 36 39 42 45 48 51 54 56 59
 61 63 64 65 66 66 66 66 65 64 63 61 59 57 55 52 50 47 43 40 37 33 30 27 25 22
 20 18 16 15 13 11 10 9 8 7 6 5 5 4 4 3 1 0
 0 1 2 3 4 6 7 8 10 11 13 14 16 18 21 23 26 29 31 34 37 41 44 47 50 52 54 57 59
 60 62 62 63 63 63 63 63 63 61 60 59 57 55 53 50 48 45 42 39 36 32 29 26 23 21
 19 16 14 13 11 10 9 8 7 6 5 5 4 3 3 2 1 0
 0 1 2 2 3 4 5 6 7 8 10 12 14 16 18 21 23 26 29 32 36 39 42 45 47 50 52 54 55 56
 57 58 58 58 57 57 58 57 56 55 54 53 51 49 47 44 42 39 36 33 30 27 24 21 18 16
 14 12 10 9 8 7 6 5 4 4 3 3 2 2 1 1 0
 0 0 1 2 3 3 4 5 6 7 8 10 11 13 15 17 19 21 23 26 28 30 33 35 37 39 41 42 44 45
 46 47 47 48 47 47 47 46 45 44 43 42 40 38 36 34 32 29 27 25 22 20 18 16 14 12
 11 9 8 7 6 5 4 4 3 3 2 2 2 2 1 0 0
 0 0 1 2 2 2 3 3 4 4 5 5 6 7 7 8 8 9 9 10 11 11 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14
 14 14 14 14 14 14 13 13 13 12 12 11 11 10 10 9 9 8 8 7 6 6 6 5 5 4 4 3 3 2 2
 2 2 2 1 0 0 0 0
 0 0 0 0 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
 4 4 4 4 4 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 0 0 0 0 0 0 0
 0
 0

E aqui uma Luminária de Sobrepor com difusor em vidro plano transparente da lustres PROJETO:

IESNA91
 [TEST] C-2335 (1x) VAPOR METALICO HQI-TS 150W
 [MANUFAC] lustres PROJETO
 [OTHER] LUMINARIA DE SOBREPOR COM DIFUSOR EM VIDRO PLANO TRANSP. TEMPERADO -
 REFL
 TILT=NONE
 1 11250 1 19 3 1 2 -.19 0.00 .25
 1 1 170
 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
 0 45 90
 4150 4027 3875 3219 2797 2440 2058 1803 1450 1220 1180 1063 827 553 272 168 106 63 34
 4150 4091 4052 3882 3866 3038 1680 1514 1425 1122 743 251 170 105 71 47 34 25 22
 4150 4429 4650 4792 4870 5301 5644 3900 2151 1759 2028 1612 1264 543 268 163 95 55 36

Como se pode ver, os dados não são de fácil leitura e compreensão, portanto, para que eles sejam bem aproveitados, é necessário que haja uma tradução que os associe ao conceito, e uma estruturação que os disponibilize para aplicações subsequentes.

Os conceitos associados a estes dados e posicionados nas linhas do arquivo IES (conforme a Tabela 1) são:

Identificador do formato do arquivo (00): Informa a versão do formato de arquivo, sendo que a última versão é a IESNA: LM 63-2002.

Rótulos e palavras-chave (01 até 04 ou mais¹³): Textos descritivos e comentários (Tabela 2). Antes dos dados deve vir entre colchetes uma palavra-chave. Algumas dessas linhas voltaram a serem obrigatórias no formato mais recente, outras são somente recomendadas. Se o usuário quer acrescentar uma palavra-chave, ela deve iniciar com um espaço sublinhado: “_”.

Tabela 2 - Trecho do IES LM-63 apresentando os comentários

LM-63-02	Discriminação
Obrigatórias:	
[TEST]	Identificação do teste fotométrico
[TESTLAB]	Nome do Laboratório que realizou o teste
[ISSUEDATE]	Data do teste fotométrico
[MANUFAC]	Nome do Fabricante
Recomendadas:	
[LUMCAT]	Identificação de Catálogo da Luminária
[LUMINAIRE]	Descrição da luminária
[LAMPCAT]	Identificação de Catálogo da Lâmpada
[LAMP]	Outros dados sobre a lâmpada: montagem, orientação, etc.

TILT (05): Esse item indica como se comporta a luminária diante da variação de ângulo de inclinação dela com relação ao ambiente. Se há variação, os dados de comportamento (fatores multiplicadores fotométricos) podem ser incluídos no próprio arquivo IES ou em um arquivo externo. As opções são: “TILT=NONE”, caso

¹³ Caso haja utilização de campos não obrigatórios podem ser utilizados mais que quatro. Para não afetar a numeração de referência desse trabalho, consideraram-se somente quatro campos reservados aos rótulos.

não haja variação e “TILT=INCLUDE” ou “TILT=<nome do arquivo>”, caso haja variação.

Geometria de lâmpada-luminária (06): É um valor inteiro que indica a orientação da lâmpada dentro da luminária e as consequências disso ao incliná-la (Tabela 3).

Tabela 3 - Índice geometria lâmpada-luminária no IES LM-63 (desenhos do autor)

1	2	3

O eixo da lâmpada é vertical quando a luminária é direcionada diretamente para baixo.	O eixo da lâmpada é horizontal quando a luminária é direcionada diretamente para baixo e permanece horizontal, quando a luminária é rotacionada sobre o seu eixo.	O eixo da lâmpada é horizontal quando a luminária é direcionada diretamente para baixo, mas não permanece horizontal quando a luminária é rotacionada sobre o seu eixo.

Número de ângulos de inclinação e fatores multiplicadores (07): Um número inteiro que representa a quantidade de ângulos de inclinação e dos correspondentes fatores multiplicadores (Tabela 4).

Tabela 4 - Trecho do IES LM-63 apresentando os dados relativos aos fatores multiplicadores

07	<número de ângulos e fatores multiplicadores>
08	<ângulos>
09	<fatores multiplicadores>

Ângulos de inclinação (08): Lista de números reais, correspondentes aos ângulos de inclinação em graus utilizados para verificar os fatores multiplicadores.

Fatores multiplicadores (09): Lista de números reais, correspondentes aos fatores multiplicadores em cada um dos ângulos de inclinação utilizados na análise da luminária. Esses fatores são utilizados para compensar as variações da distribuição de luz das luminárias conforme a variação da sua inclinação.

Número de lâmpadas (10): Número inteiro que indica a quantidade de lâmpadas por luminária.

Lúmens por lâmpada (10): Número real que representa o valor em lúmens indicado pelo fabricante da lâmpada a ser utilizada na luminária. Quando a luminária utiliza mais de uma lâmpada, esse valor representa a média dos lúmens das lâmpadas.

Multiplicador candela (10): Número real que é aplicado a todos os valores candela que serão apresentados posteriormente (14 a 17). Esse valor é usado para compensar eventuais diferenças entre as medições de laboratório e o comportamento da luminária no ambiente.

Número de ângulos verticais (10): Número inteiro que representa a quantidade de ângulos verticais em que foram realizadas as medidas dos valores candela da luminária.

Número de ângulos horizontais (10): Número inteiro que representa a quantidade de ângulos horizontais em que foram realizadas as medidas dos valores candela da luminária.

Tipo fotométrico (10): Número inteiro que indica o tipo de distribuição fotométrica que foi usada nas medições, sendo: < 1 > para Fotometria Tipo C, < 2 > para Fotometria Tipo B e < 3 > para Fotometria Tipo A. Esse tipo fotométrico indica o sistema de coordenadas e a orientação utilizada na medição. Ver Figura 41.

Figura 41 - Tipos da orientação da distribuição fotométrica (A, B e C respectivamente). Representação da luminária e dos planos fotométricos (fonte: imagem retirada da Internet e adaptada pelo autor)

Tipo de unidade (10): Número inteiro que indica a unidade de comprimento que é utilizada no arquivo. Para pés < 1 > , para metros < 2 >.

Largura (10): Número real que corresponde à distância da abertura da luminária na direção do eixo 90-270 graus do plano fotométrico.

Comprimento (10): Número real que corresponde à distância da abertura da luminária na direção do eixo 0-180 graus do plano fotométrico.

Altura (10): Número real que corresponde à altura média da abertura da luminária na direção do eixo perpendicular ao plano fotométrico.

Quando a abertura da luminária não é retangular, os dados recebem valores negativos que em sequência representam um código associado a uma forma de abertura. Ver Tabela 5.

Tabela 5 - Códigos e respectivos tipos de aberturas das luminárias conforme o IES LM-63

Largura Comprimento Altura	Descrição
0 0 0	Ponto
largura comprimento altura	Retangular (padrão)
- diâmetro 0 0	Circular (onde d = diâmetro da circunferência)
- diâmetro 0 - diâmetro	Esfera (onde d = diâmetro da esfera)
- diâmetro 0 altura	Cilindro Vertical (onde d = diâmetro da base do cilindro)
0 largura - diâmetro	Cilindro horizontal orientado ao longo do comprimento
largura 0 - diâmetro	Cilindro horizontal orientado ao longo da largura
- largura comprimento altura	Elipse orientada ao longo do comprimento da luminária
largura - comprimento altura	Elipse orientada ao longo da largura da luminária
- largura comprimento - altura	Elipsóide orientado ao longo do comprimento da luminária
largura - comprimento - altura	Elipsóide orientado ao longo da largura da luminária

Fator do reator (11): Número real que indica a razão entre os lúmens das lâmpadas quando utilizam reatores disponíveis no mercado, e os lúmens das lâmpadas quando utilizam um reator padronizado (de referência) no teste feito pelo fabricante. Todos os valores candela que serão apresentados nos itens 14 a 17 devem ser multiplicados por esse fator.

Fator fotométrico lâmpada-reator / uso futuro (11): nas versões anteriores do arquivo IES esse fator era um número real que representava a razão entre o total de lúmens obtidos com um reator e um tipo de lâmpada, usados para gerar o relatório fotométrico, e o total de lúmens da mesma luminária com um reator e um tipo de

lâmpada usados para gerar o teste fotométrico. Uma vez que os fabricantes incorporaram essa definição no anterior **Fator do reator**, esse campo passou a ser considerado para o uso futuro, ou seja, se houver necessidade de algum ajuste na relação com o reator ou um ajuste nos valores candela dos campos 14 a 17, esse campo será usado e proporcionalmente alterado. Enquanto não houver a necessidade ele ficará sempre igual à unidade (1,0). Assim, ele fica compatível com as versões anteriores do arquivo IES padrão. Todos os valores candela apresentados nos itens 14 a 17 devem ser multiplicados por esse fator.

Potência de entrada em watts (11): Um número real que indica a potência total medida em watts consumidos pela luminária, como se apresentou no teste fotométrico. Esse valor não é ajustado pelo Fator do reator ou pelo Fator fotométrico lâmpada-reator.

Ângulos verticais (12): Lista de números reais dos ângulos verticais, em graus, onde foram medidos os valores candela.

Ângulos horizontais (13): Lista de números reais dos ângulos horizontais, em graus, onde foram medidos os valores candela.

Intensidade Luminosa em Candela (14-17): Lista de números reais dos correspondentes valores candela para cada par de ângulos: uma linha para cada ângulo horizontal e um valor candela para cada ângulo vertical correspondente ao ângulo horizontal.

5.2. Outros formatos existentes

A seguir apresentam-se outros formatos de arquivos propostos como padrão de intercâmbio de dados sobre as luminárias. Esses formatos são mais antigos do que o IES LM-63 2002 e os dados apresentados por eles são incorporados pelo IES ainda que sejam apresentados de maneira diferente.

5.2.1. CIBSE TM14:1988

Esse é o nome do formato de arquivo de dados fotométricos desenvolvido pelo *Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE - London, UK)* ([CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS, 1988](#)).

A Tabela 6 apresenta uma breve descrição, para interpretação desse formato¹⁴.

Tabela 6 - Campos do formato CIBSE TM14:1988

Identificador	Descrição
01	CIBSE/1
02	Número do relatório de teste e do laboratório
03	Número de catálogo da luminária e/ou de identificação
04	Descrição da luminária
05	Descrição da Lâmpada
06	Outras informações sobre a lâmpada
07	Campo não definido
08	Campo não definido
09	<número de lâmpadas> <tipo fotométrico> <largura> < comprimento> <altura>
10	<fator do reator> <potência de entrada> <entrada VA>
11	<comportamento de projeto>
12	<número de ângulos verticais> <número de ângulos horizontais>
13	<ângulos verticais>
14	<ângulos horizontais>
15	<valores de intensidade luminosa para todos os ângulos verticais no primeiro ângulo horizontal>
16	<valores de intensidade luminosa para todos os ângulos verticais no segundo ângulo horizontal>
17	...
18	<valores de intensidade luminosa para todos os ângulos verticais no último ângulo horizontal >
19	<código de forma da área de iluminação> <área da base luminosa> <área do lado luminoso> <área da finalização luminosa>

NOTAS

- Todos os dados estão no formato ASCII.
- Todas as dimensões são em metros.

¹⁴ A versão impressa do CIBSE TM14:1988, se pode conseguir no seguinte endereço:
Chartered Institution of Building Services Engineers
Delta House, 222 Balham High Road
London SW12 9BS
URL: www.cibse.org

- As linhas de rótulo (02 a 08 inclusive) contêm textos descritivos e devem ter no máximo 60 caracteres de tamanho. Linhas em branco são permitidas.
- O tipo fotométrico deve ser '1' para o Tipo 1 (C, γ) ou '2' para o Tipo 2 (H,V) das malhas fotométricas. (Tipo 1 é a iluminação usada em rodovias, luminárias internas e que cobrem áreas, enquanto que o Tipo 2 é usado para holofotes).
- Os valores de <comprimento>, <largura> e <altura> (09) se referem às dimensões físicas da luminária.
- O <fator do reator> (10) é equivalente ao fator de reator do IES LM-63.
- A <potência de entrada> (10) está em watts.
- A <entrada VA> (10) está em volt-ampere. É o produto da voltagem de entrada medida pela corrente de entrada.
- O <comportamento de projeto> (11) é equivalente ao ângulo de TILT do IES LM-63.
- Para a fotometria Tipo 1 o primeiro valor do <ângulo vertical> (13) pode ser tanto 0° quanto 90°, e o último valor pode ser tanto 90° quanto 180°. Para a fotometria Tipo 2, o primeiro ângulo vertical é o menor ângulo na matriz de intensidades luminosas.
- Para fotometria Tipo 1, se o primeiro valor do <ângulo horizontal> (14) é 0°, o último valor será um dos seguintes:
 - 0°: Quando se assume que a luminária é lateralmente simétrica em todos os planos.
 - 90°: Quando se assume que a luminária é simétrica em cada quadrante.

→ 180°: Quando se assume que a luminária é simétrica em torno do plano 0° – 180°.

→ ***: Onde *** é maior que 180° e é menor ou igual a 360°. Nesse caso, se assume que a luminária não possui simetria rotacional.

- Para fotometria Tipo 1 o primeiro valor do <ângulo horizontal> (14) é 90°, e o ultimo valor será 270°, assumindo que a luminária é simétrica em torno do plano 90°–270°.
- Para luminárias do Tipo 1 de rodovias, se assume que o ângulo horizontal de 0° é orientado paralelamente à rodovia.
- Para fotometria Tipo 2, se o primeiro valor do <ângulo horizontal> (14) é 0°, e o último valor é menor ou igual a 90°, assume-se que a luminária é lateralmente simétrica em torno do plano vertical de referência.
- Para fotometria Tipo 2, se o primeiro valor do <ângulo horizontal> (14) está entre -90° e 0°, e o último valor está entre 0° e 90°, assume-se que a luminária não é lateralmente simétrica em torno do plano vertical de referência.
- Os <valores de intensidade luminosa> (15 e 18 inclusive) estão em candela por 1000 lúmens totais da lâmpada desobstruída.
- Os valores do <código de forma da área de iluminação > (19) é um dos seguintes:

→ 1: Caixa retangular

→ 2: Esfera

→ 3: Cilindro vertical ou disco plano

→ 4: Cilindro horizontal

→ 99: Qualquer outra forma

→ 100: Não aplicável

- Os <valores de área luminosa> (19) são as áreas luminosas projetadas da base, do lado e da terminação da luminária.
- Os cálculos da região iluminada são feitos de acordo com o “CIBSE TM10: 1985, Calculation of Glare Indices”.

5.2.2. CIE 102-1993

É o nome do formato de arquivo eletrônico para transferência de dados fotométricos das luminárias proposto pela CIE¹⁵ (*Commission Internationale de l'Eclairage* - Comissão Internacional de Iluminação) ([COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE, 1993](#)).

Conforme [Ashdown \(2001\)](#), esse padrão foi desenvolvido como um padrão internacional, mas não se conhece nenhum fabricante de luminárias que ofereçam os dados nesse formato.

5.2.3. EULUMDAT

É o nome do formato de arquivo de dados fotométricos desenvolvido por Axel Stockmar da empresa *LCI Light Consult International* (Berlim, Alemanha). Tornou-se um padrão de fato de formato de arquivo de dados fotométricos ao ser utilizado pela maioria dos fabricantes europeus de produtos de iluminação. ([STOCKMAR, 1990](#))

A sigla **EULUMDAT** é interpretada como: **Exchange of LUMinaire DATa**. E o seu nome por extenso é: "*Proposal for a Data Format for Exchange of Luminaire Data (Interior, Exterior, and/or Road Lighting Luminaires) Under the Operating*

¹⁵ www.cie.org

Systems MS-DOS 2.x/3.xx Under Condition of Unequivocal Coordination Between Luminaire and Data Set." - Proposta para formato de dados de Luminárias (de Interior, de Exterior, e/ou de Rodovias) para ser utilizado no Sistema Operacional MS-DOS 2.x/3.xx com a condição de coordenação inequívoca entre Luminária e Conjunto de Dados. A especificação do EULUMDAT é mostrada na Tabela 7.

Tabela 7 - Campos do formato EULUMDAT

Item	Discriminação	Número de Caracteres
1	Identificação da Empresa/dados de estoque/versão/formato máx. de identificação.	Máx. 78
2	Indicador de tipo ltyp (1 – fonte pontual com simetria em torno do eixo vertical; 2 – luminária linear; 3 – fonte pontual com alguma outra simetria) [ver nota 1]	1
3	Indicador de simetria lsym (0 – não tem simetria; 1 – simetria em torno do eixo vertical; 2 – simétrico com relação ao plano C0-C180; 3 – simétrico com relação ao plano C90-C270; 4 – simétrico com relação ao plano C0-C180 e ao plano C90-C270)	1
4	Número Mc de planos C entre 0 e 360 graus (normalmente 24 para interiores e 36 para luminárias de rodovias).	2
5	Distância Dc entre os planos C (Dc = 0 para planos C não equidistantemente disponíveis)	5
6	Número Ng de intensidades luminosas em cada plano C (normalmente 19 ou 37)	2
7	Distância Dg entre intensidades luminosas por plano C (Dg = 0 para intensidades luminosas não equidistantemente disponíveis nos planos C)	5
8	Máx. 78	Máx. 78
9	Nome da Luminária	Máx. 78
10	Número da Luminária	Máx. 78
11	Nome do arquivo	8
12	Data/usuário	Máx. 78
13	Comprimento/diâmetro da luminária (mm)	4
14	Largura da luminária b (mm) (b = 0 para luminárias circulares)	4
15	Altura da luminária (mm)	4
16	Comprimento /diâmetro da área luminosa (mm)	4
17	Largura da área luminosa b1 (mm) (b1 = 0 para áreas luminosas circulares da luminária)	4
18	Altura da área luminosa no plano C0 (mm)	4
19	Altura da área luminosa no plano C90 (mm)	4
20	Altura da área luminosa no plano C180 (mm)	4
21	Altura da área luminosa no plano C270 (mm)	4
22	Fração do fluxo para baixo (Downward flux fraction) DFF (%)	4
23	Quociente de saída da luz da luminária (Light output ratio luminaire) LORL (%)	4
24	Fator de conversão para intensidades luminosas (dependendo das medidas)	6
25	Inclinação da luminária durante as medidas (para luminárias de rodovias)	6
26	Número n de conjuntos padrão de lâmpadas (opcional, também ampliável com base específica na empresa)	4
26a	Número de lâmpadas	n * 4
26b	Tipo de lâmpadas	n * 24
26c	Fluxo luminoso total das lâmpadas (lúmens)	n * 12
26d	Aparência da cor / temperatura de cor as lâmpadas	n * 16
26e	Grupo de cor do rendering / índice de cor do rendering	n * 6
26f	Potência incluindo o reator (watts)	n * 8
27	Quocientes diretos (Direct ratios) DR para o índice do local k = 0,6 ... 5 (para determinação do número de luminárias de acordo como o método de fator de utilização)	10 * 7
28	Ângulos C (começando com 0 graus)	Mc * 6
29	Ângulos G (começando com 0 graus)	Ng * 6
30	Distribuição de intensidades luminosas (candela/1000 lúmens) [ver nota 2]	(Mc2-Mc1+1)* Ng * 6

NOTAS:

1. Somente luminárias lineares (Ityp=2) são subdivididas em direção longitudinal e transversal.
2. Os parâmetros Mc1 e Mc2 para a distribuição de intensidades luminosas são determinados por:

Isym	Mc1	Mc2
0	1	Mc
1	1	1
2	1	$Mc / 2 + 1$
3	$3 * Mc / 4 + 1$	$Mc1 + Mc / 2$
4	1	$Mc / 4 + 1$

3. Cada um dos campos do EULUMDAT segue o padrão de uma sequência ASCII e é terminado por um par <CR><LF> do MS-DOS.

6. DADOS DA LUMINÁRIA NECESSÁRIOS AO AEC

Na aplicação mais freqüente do cálculo de iluminação no projeto de edificações, deseja-se encontrar o número de luminárias necessárias para que se alcance um nível médio de iluminação adaptado ao uso do espaço. Para fazer os cálculos, é necessário especificar o tipo de luminária a ser usada, a correspondente lâmpada e prever as características do espaço. Essa especificação e essa previsão dependerão da adaptação ao Projeto. Assim sendo, têm-se aqui entidades logicamente ligadas: **Método de Cálculo**, **Projeto**, **Local** e **Luminária**, cada uma dessas com suas especificidades de comportamento e de atributos.

O **Processo de Projeto de um Produto** é uma atividade dinâmica em que as alternativas de solução para um mesmo problema são testadas repetidamente, aprovadas, desaprovadas, reformadas, adaptadas, ampliadas, etc. Por essa razão, é muito importante ter facilidade para fazer mudanças, especialmente nas fases de grande indeterminação como são as fases iniciais. Quanto mais rapidamente se façam as mudanças e elas sejam registradas, melhor será para as subseqüentes avaliações comparativas.

O **Local**, em termos de Projeto de Edificação, significa um espaço delimitado por divisórias que podem ser externas, internas, reais (material, como uma parede ou uma divisória de madeira) ou virtuais (abstrata, imaginária, no sentido de um mero uso de limites identificados pelo que foi previsto durante o projeto: setores, departamentos, zonas), e também delimitados pelo piso e pelo teto. As divisórias possuem vãos ou aberturas para comunicação com outros espaços, além de proporcionarem luz natural e ventilação para o ambiente delimitado.

A **Luminária** consiste no suporte para a lâmpada que é a fonte de luz artificial propriamente dita. De maneira bem primitiva essa seria uma função possível para a luminária, ou seja, a luminária mais primitiva desempenharia a função de suporte somente. No entanto sabe-se que, além disso, ela distribui a luz de forma controlada e adaptada ao uso do local, protege a lâmpada e integra-se no ambiente como um elemento decorativo. Daqui se pode ver a complexidade do objeto em si e a relação muito forte com o ambiente em que ela é instalada.

Cada um desses elementos intervém no comportamento da distribuição da luz no ambiente. Essa intervenção depende especialmente de algumas das suas características físicas e geométricas.

Como o objetivo do trabalho é especificar melhor a descrição de uma luminária no modelo IFC, dois âmbitos foram estudados: a descrição da luminária pelas normas e pelos fabricantes e os dados que são necessários para a realização dos cálculos mais freqüentes de iluminação no projeto de edificação.

6.1. Características e relações, do ponto de vista do cálculo de iluminação.

Do ponto de vista do cálculo da iluminação no ambiente, é necessário obter dados da luminária e do local a ser iluminado. Com relação ao local, o método Lúmen, utilizado neste trabalho como paradigma de cálculo de iluminação, prevê a utilização dos índices de refletância do teto, das paredes e do piso, as dimensões da sala e as alturas do teto, da sala e a altura de trabalho. Com relação à luminária itens como total de lúmens das lâmpadas, fator do reator, valores candela da distribuição goniométrica, são necessários.

6.2. O Método Lúmen

Os cálculos de iluminação artificial podem ser feitos através de diversos métodos, por exemplo, os encontrados no Manual da IESNA ([REA, 1993](#), cap. 9: *Lighting Calculations*) ou em outros manuais como os dos fabricantes de lâmpadas. A complexidade desses cálculos varia de acordo com a aplicação e com a precisão desejada. Neste trabalho escolheu-se um método bem determinado: o Método Lúmen. Essa escolha foi feita baseada na complexidade crescente que esse método oferece e na sua popularidade. Os catálogos das luminárias fornecem tabelas de coeficientes utilizados especificamente nesse método.

O Método Lúmen, também conhecido como método das cavidades zonais, é um método de cálculo de iluminação aplicado a um ambiente em que as luminárias estão regularmente distribuídas no teto. É um método amplamente utilizado nos

projetos luminotécnicos, e apóia-se em dados procedentes de estudos profundamente elaborados, como afirma [Leadford \(1993\)](#):

*“O Método Lúmen é o resultado de um longo esforço de pesquisa cujo desenvolvimento durou mais de sete décadas. Ao longo dos anos ele recebeu vários refinamentos e ampliações, resultando em uma ferramenta de engenharia surpreendentemente flexível e poderosa.”*¹⁶

Não é o único método existente, mas, sem sombra de dúvidas é o mais utilizado¹⁷. Além de ser prático, ele permite vários níveis de aprofundamento e goza de uma confiabilidade muito grande, basta ver a quantidade de manuais de fabricantes e as normas técnicas, como é o caso da [ABNT \(2002\)](#), que se encontram explicando esses cálculos. Outros métodos são ou mais simples ou muito mais complexos, sendo que nesse último caso (Radiosity e Raytracing, por exemplo) vão muito além do necessário para um cálculo bem realizado na maior parte dos casos que se apresentam no campo de AEC, e exigem aplicativos especializados e grande capacidade de processamento computacional. Em geral, estes últimos métodos são usados somente em locais em que se exige uma iluminação altamente controlada, como podem ser, por exemplo, um museu ou um laboratório.

O Método Lúmen pode ser usado de duas formas: (1) calcula o número de luminárias necessárias para atingir um determinado nível de iluminação desejada, (2) ou então calcula o nível de iluminação fornecida a um determinado ambiente, a partir do número de luminárias previstas. Para isso, os dados necessários são:

1) Número de Luminárias ou o Nível de Iluminação desejada (dependendo do que se quer obter ao utilizar o método).

¹⁶ “The Lumen Method is the result of an extensive research effort spanning more than seven decades in development. Over the years it has seen a number of refinements and extensions resulting in an amazingly flexible and powerful engineering tool.”

¹⁷ Ashdown (2001): “According to one lighting manufacturer however, over 90 percent of the day-to-day calculations they perform for their clients are for empty rectangular rooms.” Que é o caso mais simples tratado pelo Método Lúmen.

2) As dimensões do ambiente a ser iluminado, que se dividem em:

- a) Comprimento, largura e altura totais do espaço a ser iluminado;
- b) Altura do plano de trabalho;
- c) Distância entre a parte inferior da luminária e o teto (se a luminária é embutida no forro a distância é zero);

3) Coeficientes e fatores que dependem do ambiente:

a) Coeficientes de Refletância (ou Índice de Reflexão) dos materiais que revestem o piso, as paredes e o teto (ou forro);

b) Fator de conservação e limpeza do ambiente;

4) Fator do Reator¹⁸.

5) Fator de depreciação da luminosidade da lâmpada;

6) Distribuição das intensidades de luz (em candela, ou lúmens por steradian) produzidas pela luminária, medidas em laboratório¹⁹.

7) Número de lâmpadas por luminária.

8) Fluxo de luz (em lúmens²⁰) por lâmpada.

9) Fator de Utilização: cálculo ou consulta a tabelas, feito com base em 2, 3a, 6, 7 e 8.

¹⁸ IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition, Chapter 6. IES LM-41-98, Approved Method for Photometric Testing of Indoor Fluorescent Luminaires.

¹⁹ IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition, Chapter 2. IES LM-35-89, IES Approved Method for Photometric Testing of Floodlights Using Incandescent Filament or Discharge Lamps. CIE 121-1996, The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.

²⁰ IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition, Chapter 2. ANSI/IES RP-16-95, Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering. Photometry and Radiometry: A Tour Guide, www.helios32.com (Resources).

O Método Lúmen baseia-se na divisão do ambiente (uma sala, por exemplo) em três cavidades, conforme a Figura 42.

Figura 42 - Esquema da divisão das cavidades zonais (desenho do autor)

- O espaço entre o teto e as luminárias é a **cavidade do teto**.
- O espaço entre as luminárias e o plano de trabalho é a **cavidade da sala**.
- O espaço entre o plano de trabalho e o piso é a **cavidade do piso**.

→ W: Largura da sala

→ L: Comprimento da sala

→ h_{cc}: Altura da **cavidade do teto**. Para luminárias embutidas no forro ou no teto, h_{cc} = 0

→ h_{fc}: Altura da **cavidade do piso**

→ h_{rc}: Altura da **cavidade da sala**

O **nível médio de iluminação** alcançado com um número determinado de luminárias ou o **número de luminárias** necessário para alcançar um determinado nível médio de iluminação são calculados da seguinte forma:

$$\text{Iluminância média (lux)} = \frac{(\text{Número de luminárias}) \times (\text{Lúmens das lâmpadas por luminária}) \times (\text{FU}) \times (\text{LLD}) \times (\text{LDD}) \times (\text{BF})}{(\text{Área} - \text{metros quadrados})}$$

ou

$$\text{Número de luminárias} = \frac{(\text{Iluminância média desejada} - \text{lux}) \times (\text{Área} - \text{metros quadrados})}{(\text{Lúmens das lâmpadas por luminária}) \times (\text{FU}) \times (\text{LLD}) \times (\text{BF})}$$

FU, LLD, LDD e BF são explicados a seguir.

6.2.1. Refletância das Superfícies da Sala

Uma característica importante do acabamento das superfícies é a refletância. O método considera três refletâncias, que são retiradas das tabelas apropriadas, como as apresentados na Tabela 8.

ρ_c = Refletância do Teto

ρ_w = Refletância das Paredes

ρ_f = Refletância do Piso.

6.2.2. Razão da Caverna da Sala (Room Cavity Ratio - RCR)

$$(1) \quad RCR = \frac{5h_{rc}(L+W)}{L \times W}$$

Para salas com formato irregular:

$$(2) \quad RCR = \frac{2.5(\text{Altura da Caverna} \times \text{Perímetro da Caverna})}{\text{Área da Base da Caverna}}$$

6.2.3. Razão da Caverna do Teto (Ceiling Cavity Ratio - CCR)

$$(3) \quad CCR = \frac{5h_{cc}(L+W)}{L \times W} = RCR \left(\frac{h_{cc}}{h_{rc}} \right)^*$$

6.2.4. Razão da Cavidade do Piso (Floor Cavity Ratio - FCR)

$$(4) \quad FCR = \frac{5h_{fc}(L+W)}{L \times W} = RCR \left(\frac{h_{fc}}{h_{rc}} \right)^*$$

* Para salas quadradas ou salas irregulares, calcula-se o RCR e então se usa a razão das alturas das cavidades para determinar o CCR e o FCR.

6.2.5. Refletância Efetiva das Cavidades

Como o método considera a cavidade do teto e a cavidade do piso contribuindo em bloco para a luminosidade no plano de trabalho, ele destaca essas duas cavidades e calcula uma refletância para cada uma delas. Isso significa uma combinação da refletância do teto e das paredes relativas à cavidade do teto, no caso dessa cavidade, e o mesmo para a cavidade do piso. Essas refletâncias podem ser obtidas através de tabelas que compilam dados resultantes de cálculos mais complexos como, por exemplo, a Tabela 9.

p_{cc} = Refletância Efetiva da Cavidade do teto

p_{fc} = Refletância Efetiva da Cavidade do piso

Tabela 8 - Exemplo de refletâncias típicas aproximadas (fonte: REA, 1993)

Teto		Parede		Piso	
Pintura branca padrão	80%	Pintura branca	60%	Concreto escuro	15%
Pintura rugosa branca	50%	Pintura rugosa clara	30%	Carpete médio	15%
Pintura rugosa clara	30%	Concreto	40%		

6.2.6. Fator de Utilização (FU)

É o que o método define na prática, pois representa a porção de lúmens das lâmpadas que atingem o plano de trabalho.

Uma vez conhecidas as refletâncias das superfícies e das cavidades do teto, do piso e das paredes, e as razões de cavidade, o **Fator de Utilização** pode ser encontrado através dos dados publicados pelos fabricantes ou através de dados típicos (genéricos) encontrados em um manual como, por exemplo, os fornecidos

pela IESNA. A Tabela 11 apresenta um exemplo: para uma razão de cavidade da sala igual a 1.0 e refletâncias de 30 (teto), 30 (parede) e 20 (piso), o FU é igual a 0.63 para essa luminária.

Com os valores de **pcc**, **pfc** (retirados da Tabela 9), e **pw** (retirado da Tabela 8), e conhecendo a razão de cavidade da sala (RCR) previamente calculada, encontra-se o **Fator de Utilização** na tabela de fatores de utilização da luminária. Nota-se que, uma vez que a tabela é linear, podem ser feitas interpolações para obter razões de cavidade exatas ou para combinações de refletâncias.

O **Fator de Utilização** encontrado será para uma refletância efetiva da cavidade do piso (**pfc**) igual a 20%, sendo necessário corrigir para chegar ao **pfc** previamente calculado. Isso é feito multiplicando-se esse FU pelo fator retirado de uma tabela com a apresentada na Tabela 10. Sendo assim, o FU final = FU (**pfc**=20%) x Multiplicador para o **pfc** real. Se o **pfc** for diferente de 10% ou 30% deve-se interpolar ou extrapolar e multiplicar por esse fator.

6.2.7. Fator de Perda de Luz (Light Loss Factor: LLF)

A depreciação do nível inicial de luminosidade é considerada no cálculo final do método através do uso desse fator. Para se chegar a ele considera-se a depreciação da lâmpada (*Lamp Lumen Depreciation* - LLD) que vai perdendo a sua capacidade ao longo do tempo de uso, e a depreciação devida ao acúmulo de sujeira (*Luminaire Dirt Depreciation* - LDD), que depende do nível de manutenção do local. Também depende da forma (geometria) da luminária.

6.2.8. Fator do Reator (Ballast Factor - BF)

Esse fator considera a performance do reator utilizado (comercial) com relação a um reator padrão de referência, utilizado para gerar as tabelas de coeficiente.

Tabela 9 - Porcentagem efetiva de refletância da cavidade do teto ou do piso (pcc ou pfc conforme se entra com pc ou pf) para várias combinações de refletâncias típicas (fonte: REA, 1993)

% Refletância do teto ou do piso (pc ou pf)	90				80				70			50			30				10		
% Refletância das paredes (pw)	90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	70	50	30	70	50	30	10	50	30	10
Razão da cavidade																					
0.2	89	88	86	85	78	78	77	76	68	67	66	49	48	47	30	29	29	28	10	10	9
0.4	88	86	84	81	77	76	74	72	67	65	63	48	47	45	30	29	28	26	11	10	9
0.6	87	84	80	77	76	75	71	68	65	63	59	47	45	43	30	28	26	25	11	10	8
0.8	87	82	77	73	75	73	69	65	64	60	56	47	44	40	30	28	25	23	11	10	8
1.0	86	80	75	69	74	72	67	62	62	58	53	46	43	38	30	27	24	22	12	10	8
1.2	85	78	72	66	73	70	64	58	61	57	50	45	41	36	30	27	23	21	12	10	7
1.4	85	77	69	62	72	68	62	55	60	55	47	45	40	35	30	26	22	19	12	10	7
1.6	84	75	67	59	71	67	60	53	59	53	45	44	39	33	29	25	22	18	12	9	7
1.8	83	73	64	56	70	66	58	50	58	51	42	43	38	31	29	25	21	17	13	9	6
2.0	83	72	62	53	69	64	56	48	56	49	40	43	37	30	29	24	20	16	13	9	6
2.2	82	70	59	50	68	63	54	45	55	48	38	42	36	29	29	24	19	15	13	9	6
2.4	82	69	58	48	67	61	52	43	54	46	37	42	35	27	29	24	19	14	13	9	6
2.6	81	67	56	46	66	60	50	41	54	45	35	41	34	26	29	23	18	14	13	9	6
2.8	81	66	54	44	65	59	48	39	53	43	33	41	33	25	29	23	17	13	13	9	5
3.0	80	64	52	42	65	58	47	37	52	42	32	40	32	24	29	22	17	12	13	9	5
3.2	79	63	50	40	65	57	45	35	51	40	31	39	31	23	29	22	16	12	13	9	5
3.4	79	62	48	38	64	56	44	34	50	39	29	39	30	22	29	22	16	11	13	9	5
3.6	78	61	47	36	63	54	43	32	49	38	28	39	29	21	29	21	15	10	13	9	4
3.8	78	60	45	35	62	53	41	31	49	37	27	38	29	21	28	21	15	10	14	9	4
4.0	77	58	44	33	61	53	40	30	48	36	26	38	28	20	28	21	14	9	14	9	4
4.2	77	57	43	32	60	52	39	29	47	35	25	37	28	20	28	20	14	9	14	9	4
4.4	76	56	42	31	60	51	38	28	46	34	24	37	27	19	28	20	14	9	14	8	4
4.6	76	55	40	30	59	50	37	27	45	33	24	36	26	18	28	20	13	8	14	8	4
4.8	75	54	39	28	58	49	36	26	45	32	23	36	26	18	28	20	13	8	14	8	4
5.0	75	53	38	28	58	48	35	25	44	31	22	35	25	17	28	19	13	8	14	8	4

Tabela 10 - Fatores de multiplicação para refletâncias efetivas da cavidade do piso diferentes de 20 % (fonte: REA, 1993).

% Refletância efetiva da cavidade do teto, ρ_{cc}	80				70				50			30			10		
% Refletância das paredes, ρ_w	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
Para 30% de refletância efetiva da cavidade do piso ρ_{fc} (20 percent = 1.00)																	
Razão da cavidade da sala																	
1	1.092	1.082	1.075	1.068	1.077	1.070	1.064	1.059	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023	1.012	1.010	1.008
2	1.079	1.066	1.055	1.047	1.068	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017	1.013	1.010	1.006
3	1.070	1.054	1.042	1.033	1.061	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012	1.014	1.009	1.005
4	1.062	1.045	1.033	1.024	1.055	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010	1.014	1.009	1.004
5	1.056	1.038	1.026	1.018	1.050	1.034	1.024	1.015	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008	1.014	1.009	1.004
6	1.052	1.033	1.021	1.014	1.047	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006	1.014	1.008	1.003
7	1.047	1.029	1.018	1.011	1.043	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005	1.014	1.008	1.003
8	1.044	1.026	1.015	1.009	1.040	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004	1.013	1.007	1.003
9	1.040	1.024	1.014	1.007	1.037	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004	1.013	1.007	1.002
10	1.037	1.022	1.012	1.006	1.034	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.009	1.003	1.013	1.007	1.002
Para 10% de refletância efetiva da cavidade do piso ρ_{fc} (20 percent = 1.00)																	
Razão da cavidade da sala																	
1	.923	.929	.935	.940	.933	.939	.943	.948	.956	.960	.963	.973	.976	.979	.989	.991	.993
2	.931	.942	.950	.958	.940	.949	.957	.963	.962	.968	.974	.976	.980	.985	.988	.991	.995
3	.939	.951	.961	.969	.945	.957	.966	.973	.967	.975	.981	.978	.983	.988	.988	.992	.996
4	.944	.958	.969	.978	.950	.963	.973	.980	.972	.980	.986	.980	.986	.991	.987	.992	.996
5	.949	.964	.976	.983	.954	.968	.978	.985	.975	.983	.989	.981	.988	.993	.987	.992	.997
6	.953	.969	.980	.986	.958	.972	.982	.989	.977	.985	.992	.982	.989	.995	.987	.993	.997
7	.957	.973	.983	.991	.961	.975	.985	.991	.979	.987	.994	.983	.990	.996	.987	.993	.998
8	.960	.976	.986	.993	.963	.977	.987	.993	.981	.988	.995	.984	.991	.997	.987	.994	.998
9	.963	.978	.987	.994	.965	.979	.989	.994	.983	.990	.996	.985	.992	.998	.988	.994	.999
10	.965	.980	.985	.980	.967	.981	.990	.995	.984	.991	.997	.986	.993	.998	.988	.994	.999

Tabela 11 - Fatores de Utilização típicos para um tipo de luminária (fonte: REA, 1993)

Refletância efetiva da cavidade do teto (pcc)	80			70			50			30			10			0
Refletância das paredes (pw)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
Cavidade da sala	Fatores de utilização – Cavidade Zonais – para refletância efetiva da cavidade do piso (pfc) = 20%															
1	75	71	68	73	69	66	69	66	64	65	63	61	62	61	59	57
2	64	59	54	63	58	53	60	55	51	57	53	50	54	51	48	47
3	56	49	44	54	48	43	52	47	42	49	45	41	47	43	40	38
4	48	41	36	47	40	35	45	39	35	43	38	34	41	36	33	31
5	42	35	30	41	34	29	39	33	29	37	32	28	36	31	27	26
6	37	30	25	36	30	25	35	29	24	33	28	24	32	27	23	22
7	33	26	21	32	25	21	31	25	20	29	24	20	28	23	20	18
8	29	22	18	29	22	18	27	21	17	26	21	17	25	20	17	15
9	26	20	15	26	20	15	25	19	15	24	19	15	23	18	15	13
10	23	17	12	23	17	12	22	16	12	21	16	12	20	15	12	10

6.3. Cálculos para obter o Fator de utilização

Os procedimentos apresentados acima seguem o esquema tradicional de consultas às tabelas fornecidas pelos fabricantes. Essas tabelas procedem de análises laboratoriais e das normas que estabelecem os padrões de uso dos diversos elementos que influem no cálculo luminotécnico.

Os dados referentes às luminárias são fornecidos pelos fabricantes. Atualmente esses dados ainda são apresentados na forma das tabelas tradicionais, mas muitos outros dados também estão disponíveis em formato digital.

Esses dados disponíveis em formato digital permitem que se produzam as tabelas efetuando-se os cálculos correspondentes. Essa novidade faz que o procedimento de cálculo se modifique em benefício de uma maior precisão e uma análise mais rápida de opções. Especificamente, os Fatores de Utilização podem ser obtidos pela manipulação dos dados diretamente coletados da análise da luminária, por exemplo, sem a necessidade de se fazer interpolações ou extrapolações.

Para se obter os valores do **Fator de Utilização** a partir dos dados da luminária segue-se o roteiro abaixo (REA, 1993) e (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA, 1982):

Definem-se 18 zonas de ângulos sólidos de 10° do nadir ao zênite sobre a luminária conforme a Figura 43 em que o índice de cada zona, N , é um inteiro entre 1 e 18, inclusive.

Figura 43 - Zonas de ângulos sólidos (fonte: do autor adaptada de REA, 1993)

Determina-se o fluxo Φ_N (lúmens) nas várias zonas:

- a. O fluxo em um ângulo sólido cônico (veja a Figura 44) é dado por:

$$(5) \quad \Phi_N = 2\pi I_{\theta_N} (\cos \theta_N - \cos \theta_{N+1})$$

onde:

I_{θ_N} = intensidade da zona média, em candelas, para a N ésima zona.

θ_N, θ_{N+1} = ângulos dos limites do cone.

Figura 44 - Ângulos usados no cálculo (fonte: do autor adaptada da documentação do IES)

Se a intensidade não é simétrica rotacionalmente com relação ao eixo vertical, é necessário tirar a média em cada ângulo vertical θ . A intensidade deve ser medida em intervalos iguais e regulares em torno do eixo vertical. Por exemplo, se a intensidade é conhecida para três planos verticais [$I_{\theta,90^\circ}$ (perpendicular), $I_{\theta,45^\circ}$, $I_{\theta,0^\circ}$ (paralelo)], então:

$$(6) \quad I_{\theta N} = \frac{1}{4} (I_{\theta,90^\circ} + 2 I_{\theta,45^\circ} + I_{\theta,0^\circ})$$

Três planos são suficientes para luminárias com simetria axial.

Para luminárias não simétricas, os dados fotométricos devem ser medidos com incrementos de 15° ou $22,5^\circ$ em torno do eixo vertical.

Se a intensidade é medida em intervalos de 10° ($\theta = 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, \dots$), então o fluxo Φ_N é determinado aplicando a equação na parte acima da zona cheia.

- b. É preferível ter valores de intensidade em intervalos de ângulos verticais de 5° ($\theta = 2.5^\circ, 7.5^\circ, 12.5^\circ, \dots$). Nesse caso cada zona N é dividida em duas partes e a equação é aplicada à cada parte e o fluxo resultante é somado.

Determinam-se as seguintes funções de fluxo adicionais:

$$(7) \quad \Phi_{total} = \sum_{N=1}^{18} \Phi_N$$

$$(8) \quad \Phi_{para\ baixo} = \frac{1}{TLL} \sum_{N=1}^9 \Phi_N$$

$$(9) \quad \Phi_{para\ cima} = \frac{1}{TLL} \sum_{N=10}^{18} \Phi_N$$

Onde:

Φ_{total} = fluxo total das lâmpadas da luminária.

$\Phi_{para\ baixo}$ = proporção do fluxo das lâmpadas da luminária que se dirige para baixo.

$\Phi_{para\ cima}$ = proporção do fluxo das lâmpadas da luminária que se dirige para cima.

TLL = **T**otal de **L**úmens das **L**âmpadas, que corresponde ao total de lâmpadas da luminária pelos lúmens emitidos por cada lâmpada.

Determina-se a razão de direção D_G , relacionada à fração de fluxo da luminária abaixo da horizontal que é diretamente incidente no plano de trabalho:

$$(10) \quad D_G = \frac{1}{\Phi_{para\ baixo} TLL} \sum_{N=1}^9 \Phi_N K_{GN}$$

onde:

G = razão de cavidade da sala (RCR: *Room Cavity Ratio*), entre 1 e 10.

K_{GN} = multiplicadores zonais.

Os multiplicadores zonais são uma fração do fluxo direcionado para baixo diretamente incidente no plano de trabalho (superfície mais baixa da cavidade da sala), para cada zona N . São função do RCR:

$$(11) \quad K_{GN} = e^{-AG^B}$$

onde:

A e B são constantes seguindo a tabela:

Zona (N)	A	B
1	0.000	0.00
2	0.041	0.98
3	0.070	1.05
4	0.100	1.12
5	0.136	1.16
6	0.190	1.25
7	0.315	1.25
8	0.640	1.25
9	2.100	0.80

Determinam-se os parâmetros C_1 , C_2 e C_3 , e C_0 como um passo intermediário. Nas fórmulas abaixo, ρ_w é a refletância da parede, ρ_{cc} é a refletância da cavidade do teto e ρ_{fc} é a refletância da cavidade do piso, que é considerada 0.2 para a geração de tabelas de fator de utilização padrão. $F_{CC \rightarrow FC}$ é o fator de forma da cavidade do teto com relação à cavidade do piso.

$$(12) \quad F = \frac{2}{\pi xy} \ln \left(\frac{(1+x^2)(1+y^2)}{1+x^2+y^2} \right)^{1/2} + \frac{2}{\pi x} (1+x^2)^{1/2} \arctan \left(\frac{y}{(1+x^2)^{1/2}} \right)$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{2}{\pi y} (1 + y^2)^{1/2} \arctan \left(\frac{x}{(1 + y^2)^{1/2}} \right) \\
& - \frac{2}{\pi x} \arctan y - \frac{2}{\pi y} \arctan x
\end{aligned}$$

onde:

x = comprimento da cavidade/altura da cavidade

y = largura da cavidade/altura da cavidade

os arcos tangentes são expressos em radianos.

$$(13) \quad C1 = \frac{(1 - \rho_W)(1 - F_{CC \rightarrow FC}^2)G}{2.5\rho_W(1 - F_{CC \rightarrow FC}^2) + GF_{CC \rightarrow FC}(1 - \rho_W)}$$

$$(14) \quad C2 = \frac{(1 - \rho_{CC})(1 + F_{CC \rightarrow FC})}{1 + \rho_{CC}F_{CC \rightarrow FC}}$$

$$(15) \quad C3 = \frac{(1 - \rho_{FC})(1 + F_{CC \rightarrow FC})}{1 + \rho_{FC}F_{CC \rightarrow FC}}$$

$$(16) \quad C0 = C1 + C2 + C3$$

Determina-se o fator de utilização (FU), o coeficiente de emissão da parede (WEC = *wall exitance coefficient*) e o coeficiente de emissão da cavidade do teto (CCEC = *ceilling cavity exitance coefficient*):

$$(17) \quad FU = \frac{2.5\rho_W C_1 C_3 (1 - D_G) \Phi_{para_baixo}}{G(1 - \rho_W)(1 - \rho_{FC})C_0}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\rho_{CC} C_2 C_3 \Phi_{para_cima}}{G(1-\rho_{CC})(1-\rho_{FC})C_0} \\
& + \left(1 - \frac{\rho_{FC} C_3 (C_1 + C_2)}{(1-\rho_{FC})C_0}\right) \frac{D_G \Phi_{para_cima}}{1-\rho_{FC}} \\
(18) \quad WEC &= \frac{2.5\rho_W(1-D_G)\Phi_{para_baixo}}{G(1-\rho_W)} \\
& \times \left(1 - \frac{2.5\rho_W C_1 (C_2 + C_3)}{G(1-\rho_W)C_0}\right) \\
& + \frac{2.5\rho_W \rho_{CC} C_1 C_2 \Phi_{para_cima}}{G(1-\rho_W)(1-\rho_{CC})C_0} \\
& + \frac{2.5\rho_W \rho_{FC} C_1 C_3 D_G \Phi_{para_baixo}}{G(1-\rho_W)(1-\rho_{FC})C_0} \\
(19) \quad CCEC &= \frac{2.5\rho_W \rho_{CC} C_1 C_2 (1-D_G)\Phi_{para_baixo}}{G(1-\rho_W)(1-\rho_{CC})C_0} \\
& + \frac{\rho_{CC} \Phi_{para_cima}}{1-\rho_{CC}} \left(1 - \frac{\rho_{CC} C_2 (C_1 + C_3)}{(1-\rho_{CC})C_0}\right) \\
& + \frac{\rho_{CC} \rho_{FC} C_2 C_3 D_G \Phi_{para_baixo}}{(1-\rho_{CC})(1-\rho_{FC})C_0}
\end{aligned}$$

Determina-se o coeficiente de radiação direta da parede (WDRC = *wall direct radiation coefficient*) para cada RCR:

$$(20) \quad \text{WDRC} = \frac{2.5\Phi_{\text{para_baixo}}(1-D_G)}{G}$$

As equações acima podem ser usadas para calcular o FU, o WEC e o CCEC quando o RCR é igual a zero, mas as formas das equações devem ser ajustadas para evitar a divisão por zero. É mais simples usar as seguintes fórmulas:

$$(21) \quad \text{FU}_{G=0} = \frac{\Phi_{\text{para_baixo}} + \rho_{CC}\Phi_{\text{para_cima}}}{1 - \rho_{CC}\rho_{FC}}$$

$$(22) \quad \text{CCEC}_{G=0} = \frac{\rho_{CC}(\Phi_{\text{para_cima}} + \rho_{FC}\Phi_{\text{para_baixo}})}{1 - \rho_{CC}\rho_{FC}}$$

6.4. Teste dos dados na obtenção do Fator de utilização.

A síntese dos dados sobre a luminária e sobre o local se faz no cálculo de iluminação e o núcleo do cálculo aqui empregado, segundo o Método Lúmen, é a obtenção dos **Fatores de Utilização**. Para realizar essa síntese uma aplicação, ou seja, um programa de computador elaborado em Java, de interpretação da descrição da luminária e cálculo do **Fator de Utilização** foi elaborada (Figura 45 e Figura 46).

A aplicação consiste na interpretação e separação de cada um dos itens (**SEGMENTAÇÃO**) e da manipulação desses itens produzindo gráficos (**PLOTAGEM**) e cálculos de Fatores de Utilização (**CÁLCULO**), determinados a partir de características das luminárias e dos locais nos quais as luminárias são dispostas.

Os dados sobre as luminárias foram retirados de arquivos IES LM-63.

Os dados sobre os locais foram retirados de tabelas preexistentes (REA, 1993), pois dessa forma foi possível comparar os resultados e verificar a exatidão da manipulação dos itens.

Ao fazer o cálculo dos Fatores de Utilização a partir dos itens descritivos da luminária e do local, foi possível verificar a qualidade desses itens:

- se os dados fornecidos pela descrição do IES LM-63 seriam suficientes para cálculos;
- quais dados poderiam ser retirados de uma descrição típica do local;
- quais dados teriam que ser incluídos no decorrer da aplicação, como variáveis;

Cálculo de Coeficiente de Utilização

Largura do recinto	5,00	Altura do plano de Trabalho	0,75
Comprimento do recinto	8,00	Coef. reflexão do Teto	0,20
Altura do Recinto	3,00	Coef. reflexão das Paredes	0,20
Altura do teto à luminária	0,50	Coef. reflexão do Piso	0,50

Calcula reflexões efetivas

Coef. refl. efetiva do Teto	0,16	Coef. refl. efetiva do Piso	0,35
-----------------------------	------	-----------------------------	------

Arquivo: D7896.IES

Selecionar arquivo | **Dados Luminária**

☒ **Numero de Luminárias** | ☐ **Luminosidade**

Relação Comprimento/Largura: 1,60
 Coeficiente da Cavidade do Teto: 1,22
 Coeficiente da Cavidade do Recinto: 2,84
 Coeficiente da Cavidade do Forro: 0,81
 FI total: 8.529,50
 FI para baixo: 0,62
 FI para cima: 0,00
 Total de Lumens das lâmpadas: 13.800,00
 Coeficiente de Utilização: 0,46

Figura 45 - Janela de cálculo do programa de interpretação do formato IES (fonte: captura de tela de programa elaborado pelo autor)

Com essa aplicação constatou-se que:

- para a luminária os dados do arquivo IES LM-63 são suficientes em um cálculo preciso do **Fator de Utilização**;
- dados simples do local, já previstos no modelo IFC, podem ser facilmente obtidos diretamente desse modelo, como as dimensões do ambiente;

Figura 46 - Dois exemplos da janela de apresentação dos dados e gráficos do programa de interpretação do formato IES (fonte: captura de tela de programa elaborado pelo autor)

7. IFC X MÉTODO LÚMEN E IFC X IES LM-63

Para determinar onde e como deverão ocorrer as mudanças e ampliações do IFC de modo a cobrir as necessidades dos usuários das informações sobre as luminárias, confrontou-se o modelo IFC com os dados necessários ao método Lúmen e também com os dados previstos pelo IES LM-63.

7.1. Classes do IFC que prevêm os dados necessários ao Método Lúmen

Os dados necessários ao Método Lúmen estão previstos pelo IFC nas classes apresentadas na Tabela 12.

Para compreender melhor a tabela é preciso lembrar que:

1. As definições das características das classes no IFC são feitas através de um dos dois subtipos da *classe de relacionamento de definição* (*IfcRelDefines*): *por propriedades* (*IfcRelDefinesByProperties*) ou *por tipo* (*IfcRelDefinesByType*) conforme a natureza da classe a ser definida e o modo de definição que se deseja. Na Tabela 12 os dois casos aparecem, por exemplo: *IfcSpace* é *definido pelas propriedades* do *Conjunto de Propriedades* chamado *Pset_SpaceLightingRequirements* e o *IfcFlowTerminal* é *definido pelo tipo* da classe de tipo *IfcLampType* que, por sua vez, é *definido pelas propriedades* do *Conjunto de Propriedades* chamado *Pset_LampEmitterTypeCommon*.
2. As conexões físicas entre os objetos são definidas pela *classe de relacionamento de conexão* (*IfcRelConnects*) ou seus subtipos, como é o caso de elementos dentro de um espaço que podem ser conectados mais apropriadamente através do subtipo *IfcRelContainedInSpatialStructure*. Na Tabela 12 pode-se identificar essa conexão entre o espaço, a luminária e o forro, para definir a altura da cavidade do teto (item 2c).

3. Outras classes de relacionamento como as de atribuição ou de decomposição (**IfcRelAssigns** ou **IfcRelDecomposes**) podem ser convenientemente utilizadas para reforçar as ligações entre os objetos, embora não sejam necessárias para completar o conjunto de dados utilizados no cálculo de iluminação pelo Método Lúmen.

As classes apontadas prevêm quase todos os dados necessários para o cálculo do método Lúmen, porque os dados correspondem aos objetos estudados e os tipos de dados dos seus atributos correspondem aos dados requisitados pelo método, conforme o apresentado na Tabela 13. Em alguns casos essa previsão é redundante, ou seja, é possível modelar objetos por classes diferentes para fornecer o mesmo dado (itens 4 e 8 da Tabela 12).

Percebe-se, porém, a falta de *Conjuntos de Propriedades* ou *propriedades* relacionados às classes (itens 3b e 4 – diversas opções – da Tabela 12):

- **IfcSpace** (**Pset_SpaceLightingRequirements**: **SpaceMaintenanceFactor** – nova propriedade)
- **IfcLightFixtureType** (**Pset_LightFixtureTypeTest**: **LampBallastFactor** – novo conjunto e nova propriedade)
- **IfcLampType** (**Pset_LampEmitterTypeCommon**: **LampBallastFactor** – nova propriedade)
- **IfcFlowControllerType** (**Pset_ControllerType**: **LampBallastFactor** – novo conjunto e nova propriedade)

Sendo que a propriedade **LampBallastFactor** só precisaria ser definida uma vez, escolhendo-se um *conjunto de propriedades* mais adequado para contê-la. O **IfcFlowControllerType** é o mais adequado pois trata-se de uma classe de tipo referente especificamente à controladores de fluxo, aplicado a uma

luminária quando houver necessidade, ou seja, existem luminárias que, dependendo do tipo de lâmpada, não utilizam reatores.

Tabela 12 - Classes IFC que prevêem dados para o cálculo segundo o Método Lúmen

Dados necessários para o Método Lúmen	Esquemas e trechos das árvores das classes em que os dados necessários são definidos no IFC
1.1) Número de Luminárias no ambiente	<p>Espaço:</p> <ul style="list-style-type: none"> IFCPRODUCTEXTENSION: IfcSpace <p>Luminária:</p> <ul style="list-style-type: none"> IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS: IfcFlowTerminal, IfcFlowTerminalType IFCELECTRICDOMAIN: IfcLightFixtureType*
1.2) Nível de Iluminação desejada	<p>Espaço:</p> <ul style="list-style-type: none"> IFCPRODUCTEXTENSION: IfcSpace (Pset_SpaceLightingRequirements)
2) As dimensões do ambiente a ser iluminado, que se dividem em:	
a) Comprimento e largura e altura	<p>Espaço:</p> <ul style="list-style-type: none"> IFCPRODUCTEXTENSION: IfcSpace IFCREPRESENTATIONRESOURCE: IfcProductRepresentation, IfcRepresentation, IFCGEOMETRYRESOURCE: IfcRepresentationItem, IfcGeometricRepresentationItem IFCGEOMETRICMODELRESOURCE: IfcBoundingBox
b) Altura do plano de trabalho	<p>Mobiliário (mesa de trabalho):</p> <ul style="list-style-type: none"> IFCPRODUCTEXTENSION: IfcFurnishingElement IFCREPRESENTATIONRESOURCE: IfcProductRepresentation, IfcRepresentation IFCGEOMETRYRESOURCE: IfcRepresentationItem, IfcGeometricRepresentationItem IFCGEOMETRICMODELRESOURCE: IfcBoundingBox
c) Distância entre a parte inferior da luminária e o teto: derivada da definição geométrica dos elementos luminária e espaço ou determinada pela altura do forro	<p>Espaço:</p> <ul style="list-style-type: none"> IFCPRODUCTEXTENSION: IfcSpace IFCREPRESENTATIONRESOURCE: IfcProductRepresentation, IfcRepresentation, IFCGEOMETRYRESOURCE: IfcRepresentationItem, IfcGeometricRepresentationItem IFCGEOMETRICMODELRESOURCE: IfcBoundingBox <p>Luminária:</p> <ul style="list-style-type: none"> IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS: IfcFlowTerminal IFCREPRESENTATIONRESOURCE: IfcProductRepresentation, IfcRepresentation IFCGEOMETRYRESOURCE: IfcRepresentationItem, IfcGeometricRepresentationItem IFCGEOMETRICMODELRESOURCE: IfcBoundingBox <p>Forro:</p> <ul style="list-style-type: none"> IFCPRODUCTEXTENSION: IfcCovering IFCREPRESENTATIONRESOURCE: IfcProductRepresentation, IfcRepresentation

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCGEOMETRYRESOURCE</u>: IfcRepresentationItem, IfcGeometricRepresentationItem ▪ <u>IFCGEOMETRICMODELRESOURCE</u>: IfcBoundingBox
3) Coeficientes e fatores que dependem do ambiente:	
a) Coeficientes de Refletância (ou Índice de Reflexão) dos materiais que revestem o piso, as paredes e o teto (ou forro)	Material de revestimento: <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCPRODUCTEXTENSION</u>: IfcRelAssociatesMaterial (atributo RelatingMaterial), IfcCovering ▪ <u>IFCMATERIALRESOURCE</u>: IfcMaterial ▪ <u>IFCMATERIALPROPERTYRESOURCE</u>: IfcMaterialProperties, IfcOpticalMaterialProperties (atributo VisibleReflectanceFront)
b) Fator de conservação e limpeza do ambiente	Espaço: <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCPRODUCTEXTENSION</u>: IfcSpace (Pset_SpaceLightingRequirements: SpaceMaintenanceFactor – nova propriedade)
4) Fator do Reator*	Opção 1: Reator: <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcFlowController ▪ <u>IFCELECTRICDOMAIN</u>: IfcFlowControllerType (Pset_ControllerType: LampBallastFactor – novo conjunto e nova propriedade)
	Opção 2: Lâmpada: <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcFlowTerminal ▪ <u>IFCELECTRICDOMAIN</u>: IfcFlowTerminalType, IfcLampType (Pset_LampEmitterTypeCommon****: LampBallastFactor – nova propriedade)
	Opção 3: Luminária: <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcFlowTerminal ▪ <u>IFCELECTRICDOMAIN</u>: IfcFlowTerminalType, IfcLightFixtureType (Pset_LightFixtureTypeTest: LampBallastFactor – novo conjunto e nova propriedade)
5) Fator de depreciação da luminosidade da lâmpada	Lâmpada: <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcFlowTerminal ▪ <u>IFCELECTRICDOMAIN</u>: IfcFlowTerminalType, IfcLampType (Pset_LampEmitterTypeCommon***: LampMaintenanceFactor)
6) Distribuição das intensidades de luz (em candela, ou lúmens por steradian*)	Luminária: <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcFlowTerminal ▪ <u>IFCREPRESENTATIONRESOURCE</u>: IfcProductRepresentation, IfcRepresentation ▪ <u>IFCGEOMETRYRESOURCE</u>: IfcRepresentationItem, IfcGeometricRepresentationItem ▪ <u>IFCPRESENTATIONORGANIZATIONRESOURCE</u>: IfcLightSource, IfcLightSourceGoniometric (atributo LightDistributionDataSource)
7) Número de lâmpadas por luminária**	Luminária: <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcFlowTerminal ▪ <u>IFCELECTRICDOMAIN</u>: IfcFlowTerminalType, IfcLightFixtureType

	<p>Soquete:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcDistributionPort <p>Lâmpada:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcFlowTerminal ▪ <u>IFCELECTRICALDOMAIN</u>: IfcFlowTerminalType, IfcLampType
8) Fluxo de luz (em lúmens) por lâmpada	<p>Opção 1 Lâmpada:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcFlowTerminal ▪ <u>IFCREPRESENTATIONRESOURCE</u>: IfcProductRepresentation, IfcRepresentation ▪ <u>IFCGEOMETRYRESOURCE</u>: IfcRepresentationItem, IfcGeometricRepresentationItem ▪ <u>IFCPRESENTATIONORGANIZATIONRESOURCE</u>: IfcLightSource, IfcLightSourceGoniometric (atributo LuminousFlux) <p>Opção 2: Lâmpada:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS</u>: IfcFlowTerminal ▪ <u>IFCELECTRICALDOMAIN</u>: IfcFlowTerminalType, IfcLampType (Pset_LampEmitterTypeCommon***: ContributedLuminousFlux)
9) Fator de Utilização****	Vários

* é um número que se obtém do modelo em que consta o espaço e as luminárias que foram alocadas para aquele espaço.

** é um número que se obtém do modelo completo da luminária, definida como um *IfcFlowTerminal* do tipo *IfcLightFixtureType* que contém lâmpadas, que também são definidas como um *IfcFlowTerminal* do tipo *IfcLampType*, os dois conectados através de um soquete definido como um *IfcDistributionPort*.

*** esse conjunto de propriedades aparece na documentação do IFC, mas não está explicitamente vinculado à classe *IfcLampType*.

**** é um fator que se obtém através de cálculos realizados com os dados de cada um dos itens correspondentes.

Tabela 13 - Desdobramento das Classes IFC que prevêem dados para o cálculo segundo o Método Lúmen

CLASSE	ATRIBUTO/PROPRIEDADES	EXPLICAÇÃO
IfcBoundingBox	Corner, XDim, YDim, ZDim	Localização (IfcCartesianPoint) e medidas principais (comprimento, largura, altura – IfcPositiveLengthMeasure) em geral: do espaço, do forro, altura do plano de trabalho (mesa), da luminária, etc.
IfcLightSourceGoniometric	LuminousFlux	Fluxo luminoso (IfcLuminousFluxMeasure) em Lúmens.
IfcLampType	ContributedLuminousFlux (Pset_LampEmitterTypeCommon)	
IfcLightSourceGoniometric	LightDistributionDataSource	Atributo que armazena a referência a uma classe IFC que seleciona a fonte dos dados de distribuição de luz (IfcLightDistributionDataSourceSelect)
<i>IfcLightDistributionDataSourceSelect</i>	IfcExternalReference, IfcLightIntensityDistribution	Seleção de uma classe IFC, dentre duas possibilidades, que será a fonte de dados sobre distribuição de luz. Uma é a classe IFC que referencia uma fonte externa ao modelo (IfcExternalReference) e a outra é uma classe IFC que estrutura os dados de distribuição de luz (IfcLightIntensityDistribution).
<i>IfcLightIntensityDistribution</i>	LightDistributionCurve	Atributo que armazena o tipo de curva de distribuição de luz fornecido por uma classe IFC a partir de uma lista. (IfcLightDistributionCurveEnum)
	DistributionData	Atributo que armazena a referência a uma classe IFC que, por sua vez, armazena os dados sobre a distribuição de luz (IfcLightDistributionData)
<i>IfcLightDistributionCurveEnum</i>	TYPE_A, TYPE_B, TYPE_C, NOTDEFINED	Lista de possibilidades para a escolha de uma <u>seqüência de caracteres</u> que indicam o tipo de curva de distribuição de luz.
<i>IfcLightDistributionData</i>	MainPlaneAngle	Ângulo principal da distribuição de luz (IfcPlaneAngleMeasure)
	SecondaryPlaneAngle	Ângulo secundário da distribuição de luz (IfcPlaneAngleMeasure)
	LuminousIntensity	Intensidade luminosa correspondente a um par de ângulos (principal, secundário) (IfcLuminousIntensityDistributionMeasure) em Candela/Lúmen.
IfcOpticalMaterialProperties	VisibleReflectanceFront	Refletância dos materiais de revestimento (IfcPositiveRatioMeasure = IfcRatioMeasure)
IfcSpace	Illuminance (Pset_SpaceLightingRequirements)	Nível de iluminação necessária (IfcIlluminanceMeasure) em Lux.

7.2. Classes do IFC que prevêm os dados da luminária segundo o IES LM-63.

Além da falta de alguns dados, percebida na análise do Método Lúmen, ao analisar o IES LM-63 e compará-lo com os dados fornecidos pelo modelo IFC, verifica-se que alguns devem ser acrescentados no IFC para a definição mais completa de uma luminária. Especificamente, as classes **IfcDistributionPortType**, **IfcFlowControllerType**, **IfcLightFixtureType** e **IfcLampType** deveriam fornecer em conjunto esses dados porque tratam-se das classes cuja natureza, dentro do modelo IFC, é caracterizar a luminária.

Esses dados são:

1. **Ângulos dos fatores multiplicadores devidos à inclinação (TILT):** Lista de ângulos correspondentes às medições feitas para determinar os efeitos da inclinação da luminária na distribuição da luz.
2. **Fatores multiplicadores devidos à inclinação (TILT):** Lista de fatores correspondentes aos ângulos de medição (n. 1).
3. **Multiplicador candela:** Multiplicador aplicado a todos os valores da distribuição de luz, para ajustar eventuais distorções ocasionadas no momento da medição.
4. **Geometria lâmpada-luminária:** Um índice que mostra a relação entre a lâmpada e a luminária do ponto de vista da posição relativa dos dois elementos. Presente no IES LM-63, ele é um dado descritivo importante. Embora possa ser derivado da geometria do **produto** IFC, ao apresentar-se como uma propriedade de preenchimento opcional se teria um dado que, de outra forma, seria muito trabalhoso conseguir (Tabela 14).

Tabela 14 - Proposta de índice geometria lâmpada-luminária do IES LM-63 (desenhos do autor)

1	2	3

O eixo da lâmpada é vertical quando a luminária é direcionada diretamente para baixo.	O eixo da lâmpada é horizontal quando a luminária é direcionada diretamente para baixo e permanece horizontal, quando a luminária é rotacionada sobre o seu eixo.	O eixo da lâmpada é horizontal quando a luminária é direcionada diretamente para baixo, mas não permanece horizontal quando a luminária é rotacionada sobre o seu eixo.

5. Forma da região luminosa: Importante para o cálculo luminotécnico, trata-se dos dados necessários para definir um retângulo (comprimento e a largura). Embora também se pudesse obter esse dado através das informações geométricas do **produto** do IFC, seria interessante ter essa informação destacada como uma propriedade opcional. Mesmo porque, seguindo a característica de modularidade do IFC e de modelo que vai crescendo em nível de especificidade, a geometria da luminária completa não precisaria estar presente, no modelo IFC, desde o início da definição da luminária (Tabela 15).

Tabela 15 - Códigos e respectivos tipos de aberturas das luminárias conforme o IES LM-63

Largura Comprimento Altura	Descrição
0 0 0	Ponto
largura comprimento altura	Retangular (padrão)
- diâmetro 0 0	Circular (onde d = diâmetro da circunferência)
- diâmetro 0 - diâmetro	Esfera (onde d = diâmetro da esfera)
- diâmetro 0 altura	Cilindro Vertical (onde d = diâmetro da base do cilindro)
0 largura - diâmetro	Cilindro horizontal orientado ao longo do comprimento
largura 0 - diâmetro	Cilindro horizontal orientado ao longo da largura
- largura comprimento altura	Elipse orientada ao longo do comprimento da luminária
largura - comprimento altura	Elipse orientada ao longo da largura da luminária
- largura comprimento - altura	Elipsóide orientado ao longo do comprimento da luminária
largura - comprimento - altura	Elipsóide orientado ao longo da largura da luminária

6. Posição do centro de distribuição luminosa: apesar de ser uma informação geométrica que pareceria ser possível de obter a partir das informações de representação do **produto** luminária do modelo IFC, a sua obtenção seria muito complexa, uma vez que é um resultado da atuação conjunta da lâmpada, dos refletores e do difusor. Apresentada

como uma propriedade opcional seria muito útil para o projeto e para o cálculo. Propõe-se utilizar a mesma classificação do IESNA LM 41-98, que é um estudo do IES complementar ao IES LM-63 (Tabela 16).

Tabela 16 - Centro fotométrico, em função do tipo de luminária e da distribuição do fluxo luminoso (fonte: IESNA LM 41-98)

Tipo de Luminária	Distribuição do Fluxo Luminoso	Centro Fotométrico
Embutida	Direta	Plano do Forro
Suspensa	Direta	Abertura Luminosa
Suspensa	Indireta	Abertura Luminosa
Suspensa	Direta / Indireta	Centróide da Luminária
Suspensa	Lâmpada Exposta	Centro geométrico da(s) lâmpada(s)
Sobreposta	Direta	Abertura Luminosa
Sobreposta	Outras	Centro geométrico da(s) lâmpada(s)

7. Características adicionais previstas no IES LM-63: Embora muitas descrições possam ser apresentadas em outro local do **produto** luminária do modelo IFC, algumas delas tem mais utilidade quando se apresentam diretamente ligadas às informações fotométricas. O IES LM-63 apresenta essas descrições na parte inicial do arquivo (ver Tabela 17).

Tabela 17 - Campos previstos pelo IES LM-63-2002

LM-63-02	Discriminação
Obrigatórias:	
[TEST]	Identificação do teste fotométrico
[TESTLAB]	Nome do Laboratório que realizou o teste
[ISSUEDATE]	Data do teste fotométrico
[MANUFAC]	Nome do Fabricante
Recomendadas:	
[LUMCAT]	Identificação de Catálogo da Luminária
[LUMINAIRE]	Descrição da luminária
[LAMPCAT]	Identificação de Catálogo da Lâmpada
[LAMP]	Outros dados sobre a lâmpada: montagem, orientação, etc.

8. Características adicionais possíveis no IES LM-63: Em arquivos IES de diversos fabricantes encontram-se ainda outros campos como os apresentados na Tabela 18. Vários dos dados desses campos poderiam ser incorporados aos campos já previstos, evitando-se a multiplicação dos mesmos. Em geral, esses novos campos acrescentam informações específicas, não essenciais, ou que podem aparecer em outros momentos da especificação do **produto** luminária no modelo IFC. No entanto, destaca-se uma especificação freqüente que é o **tipo de montagem da**

luminária que, apesar de poder ser especificada em outro momento no modelo IFC, é uma informação de uso muito freqüente no projeto.

Tabela 18 - Campos criados por fabricantes, previstos pelo IES LM-63-2002

[BALLAST]	Modelo e características do reator
[PAINTREFL]	Porcentagem de reflexão da pintura da luminária
[LAMPPOSITION]	Posição da lâmpada com relação ao ambiente
[MOUNTING]	Tipo de montagem da luminária no ambiente

A classe **IfcLightFixtureType**, cuja hierarquia de classes é apresentada na Tabela 19 e a explicação da hierarquia na Tabela 20, tem como único atributo o **PredefinedType**, que pode assumir um dos valores apresentados na Tabela 21.

Tabela 19 - Hierarquia do IfcLightFixtureType

CLASSE (ENTIDADE IFC)	ATRIBUTO
ENTITY IfcRoot;	GlobalId : IfcGloballyUniqueId; OwnerHistory : IfcOwnerHistory; Name : OPTIONAL IfcLabel; Description : OPTIONAL IfcText;
ENTITY IfcPropertyDefinition;	INVERSE HasAssociations : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
ENTITY IfcTypeObject;	ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel; HasPropertySets : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcPropertySetDefinition; INVERSE ObjectTypeOf : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
ENTITY IfcTypeProduct;	RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap; Tag : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcElementType;	ElementType : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcDistributionElementType;	
ENTITY IfcDistributionFlowElementType;	
ENTITY IfcFlowTerminalType;	
ENTITY IfcLightFixtureType;	PredefinedType : IfcLightFixtureTypeEnum;

Tabela 20 - Explicação da Hierarquia (subtipos) da classe **IfcLightFixtureType**

CLASSE (ENTIDADE IFC)	ATRIBUTO	DESCRIÇÃO DO ATRIBUTO
Raiz	Identificação Global	Identificador único global.
	Histórico do Proprietário	Histórico do Proprietário.
	Nome (opcional)	Rótulo
	Descrição (opcional)	Texto
Definição de Propriedades	Atributo invertido: Possui Associações	Um conjunto de nomes de Relações de Associação que estão sendo utilizadas para relacionar outras classes ao Tipo de Fixação de Luz.
Tipo de Objeto	Aplicabilidade (opcional)	Rótulo
	Possui Conjunto de Propriedades (opcional)	Uma lista contendo diversos (pelo menos um) nomes de Conjuntos de Propriedades distintos, que definem o Tipo de Fixação de Luz.
	Atributo invertido: Tipo de Objeto de	Um conjunto de nomes de Relacionamentos de Definição por Tipo, que estão usando o Tipo de Fixação de Luz para definir por tipo outras classes.
Tipo de Produto	Mapas de Representação (opcional)	Uma lista de Mapas de Representação distintos (contendo pelo menos um mapa), onde se definem, por exemplo, as características geométricas do Tipo de Fixação de Luz.
	Etiqueta (opcional)	Rótulo
Tipo de elemento	Tipo de Elemento (opcional)	Rótulo
Tipo de Elemento de Distribuição		
Tipo de Elemento de Distribuição de Fluxo		
Tipo de Terminal de Fluxo		
Tipo de Fixação de Luz	Tipo predefinido	Uma enumeração de tipos predefinidos de fixação de luz (pontual, direcional – linha reta ou superfície plana –, definida pelo usuário, não definida)

Tabela 21 - Enumeração de tipos predefinidos para o **IfcLightFixtureType**.

Value	Definition	Pset
POINTSOURCE	A light fixture that is considered to emit light at a point.	NO
DIRECTIONSOURCE	A light fixture that is considered to emit light from a linear or area face and in a direction.	NO
USERDEFINED		
NOTDEFINED		

A classe **IfcLampType**, cuja hierarquia de classes é apresentada na Tabela 22 e a explicação da hierarquia na Tabela 23, tem como único atributo o **PredefinedType**, que pode assumir um dos valores apresentados na Tabela 24.

Tabela 22 - Hierarquia do IfcLampType

CLASSE (ENTIDADE IFC)	ATRIBUTO
ENTITY IfcRoot;	GlobalId: IfcGloballyUniqueId;
	OwnerHistory: IfcOwnerHistory;
	Name: OPTIONAL IfcLabel;
	Description: OPTIONAL IfcText;
ENTITY IfcPropertyDefinition;	INVERSE HasAssociations: SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
ENTITY IfcTypeObject;	ApplicableOccurrence: OPTIONAL IfcLabel;
	HasPropertySets: OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcPropertySetDefinition;
	INVERSE ObjectTypeOf: SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
ENTITY IfcTypeProduct;	RepresentationMaps: OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
	Tag: OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcElementType;	ElementType: OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcDistributionElementType;	
ENTITY IfcDistributionFlowElementType;	
ENTITY IfcFlowTerminalType;	
ENTITY IfcLampType	PredefinedType : IfcLampTypeEnum;

Tabela 23 - Explicação da Hierarquia (subtipos) da classe `IfcLampType`

CLASSE (ENTIDADE IFC)	ATRIBUTO	DESCRIÇÃO DO ATRIBUTO
Raiz	Identificação Global	Identificador único global.
	Histórico do Proprietário	Histórico do Proprietário.
	Nome (opcional)	Rótulo
	Descrição (opcional)	Texto
Definição de Propriedades	Atributo invertido: Possui Associações	Um conjunto de nomes de Relações de Associação que estão sendo utilizadas para relacionar outras classes ao Tipo de Fixação de Luz.
Tipo de Objeto	Aplicabilidade (opcional)	Rótulo
	Possui Conjunto de Propriedades (opcional)	Uma lista contendo diversos (pelo menos um) nomes de Conjuntos de Propriedades distintos, que definem o Tipo de Fixação de Luz.
	Atributo invertido: Tipo de Objeto de	Um conjunto de nomes de Relacionamentos de Definição por Tipo, que estão usando o Tipo de Fixação de Luz para definir por tipo outras classes.
Tipo de Produto	Mapas de Representação (opcional)	Uma lista de Mapas de Representação distintos (contendo pelo menos um mapa), onde se definem, por exemplo, as características geométricas do Tipo de Fixação de Luz.
	Etiqueta (opcional)	Rótulo
Tipo de elemento	Tipo de Elemento (opcional)	Rótulo
Tipo de Elemento de Distribuição		
Tipo de Elemento de Distribuição de Fluxo		
Tipo de Terminal de Fluxo		
Tipo de Lâmpada	Tipo predefinido	Uma enumeração de tipos predefinidos de lâmpada (fluorescente compacta, fluorescente, alta pressão de mercúrio, alta pressão de sódio, alógena, filamento de tungstênio, definida pelo usuário, não definida)

Tabela 24 - Enumeração de tipos predefinidos para o IfcLampType (fonte: documentação do IFC)

Value	Definition	Pset
COMPACTFLUORESCENT	A fluorescent lamp having a compact form factor produced by shaping the tube.	NO
FLUORESCENT	A typically tubular discharge lamp in which most of the light is emitted by one or several layers of phosphors excited by ultraviolet radiation from the discharge.	NO
HIGHPRESSUREMERCURY	A discharge lamp in which most of the light is emitted by exciting mercury at high pressure.	NO
HIGHPRESSURESODIUM	A discharge lamp in which most of the light is emitted by exciting sodium at high pressure.	NO
METALHALIDE	A discharge lamp in which most of the light is emitted by exciting a metal halide.	NO
TUNGSTENFILAMENT	A lamp that emits light by passing an electrical current through a tungsten wire filament in a near vacuum.	NO
USERDEFINED		
NOTDEFINED		

O modelo IFC prevê dois tipos de *Conjuntos de Propriedades*: os que estão dentro do modelo, chamados de *estaticamente definidos*, e os que são elaborados fora do modelo e declarados posteriormente por um acordo de implementação, chamados de *dinamicamente ampliáveis*.

Exemplos de *Conjuntos de Propriedades estaticamente definidos* encontram-se na classe *IfcSpace*, que prevê o uso de vários desses conjuntos: *Pset_SpaceCommon*, *Pset_SpaceParking*, *Pset_SpaceParkingAisle*, *Pset_SpaceFire-SafetyRequirements*, *Pset_SpaceLightingRequirements*, *Pset_SpaceOccupancy-Requirements*, *Pset_SpaceThermalRequirements*.

Como se pode ver na Tabela 21 e na Tabela 24, nos dois casos não há um *Conjunto de Propriedades estaticamente definido* (Pset = NO) previsto para especificar melhor as classes. Também nas definições das classes *IfcLampType* e *IfcLightFixtureType* presentes na documentação do IFC, não se apresentam referências a *Conjuntos de Propriedades estaticamente definidos*. Portanto, se houver necessidade de *definir por propriedades* essas classes, essa definição será feita através de um ou vários *Conjuntos de Propriedades dinamicamente ampliáveis*.

No caso do **IfcLightFixtureType**, por exemplo, uma vez que um Terminal de Fluxo (**IfcFlowTerminal**) é definido como um Tipo de Fixação de Luz (**IfcLightFixtureType**), ele poderá assumir um dos seguintes valores: (1) fonte de luz pontual (um ponto), (2) fonte de luz direcional (uma reta ou uma superfície plana), (3) definida pelo usuário (por exemplo, uma superfície irregular), ou então (4) não será especificamente definido. Cada um desses tipos prevê uma vinculação a um **Conjunto de Propriedades** que o especificaria mais detalhadamente, no entanto, não há nenhum **Conjunto de Propriedades** assinalado (Pset = NO). O mesmo raciocínio se aplica ao **IfcLampType**.

Contudo, junto à documentação do modelo IFC encontram-se **Conjuntos de Propriedades dinamicamente ampliáveis** propostos para essas classes. Isso significa que alguns estudos sobre o uso dessas classes perceberam a necessidade de mais propriedades e propuseram esses conjuntos.

Com relação ao **IfcLampType**, o **Conjunto de Propriedades dinamicamente ampliável** proposto na versão 2x2 do IFC (2004) é o **Pset_LampEmitterTypeCommon**, e para o **IfcLightFixtureType** é o **Pset_LightFixtureTypeCommon**. A Tabela 26 e a apresentam as propriedades desses conjuntos. Tanto a classe **IfcDistributionPortType**, que somente é mencionada como a classe de tipo aplicável a **IfcDistributionPort**, quanto a classe **IfcFlowControllerType**, não possuem **Conjuntos de Propriedades dinamicamente ampliáveis** na documentação do IFC.

Somente um dado resultante da análise do IES LM-63 aparece em um desses **Conjuntos de Propriedades dinamicamente ampliáveis**: a propriedade **ContributedLuminousFlux** está presente em **Pset_LampEmitterTypeCommon**.

A Tabela 25 resume os dados que faltam para a aplicação do Método Lúmen.

Sendo assim, a proposta de ampliação do IFC poderia seguir os seguintes caminhos:

1) Completar o modelo com os **Conjuntos de Propriedades** que estão faltando para o Método Lúmen, e melhorar o **Pset_LightFixtureTypeCommon** incluindo os dados que faltam, conforme a análise do IES LM-63. Como em alguns casos existem opções para as classes que devem sofrer intervenções, é preciso escolher quais são mais adequadas, valorizando aquelas que contribuem para a clareza e para a utilização dessas classes em diferentes aplicações do cálculo luminotécnico.

2) Juntar todos os dados necessários e convenientes em um único **Conjunto de Propriedades**, propondo mudanças no IFC para que isso resulte realmente vantajoso, como aceitar **IfcLightSourceGoniometric** como uma classe que pode ser referenciada através de **IfcObjectReferenceSelect**.

3) Juntar todos os dados necessários e convenientes em um único **Conjunto de Propriedades**, incluindo todos os dados que se obtém de **IfcLightSourceGoniometric** como propriedades desse conjunto.

O primeiro é um caminho mais factível, pois não resulta em uma mudança na estrutura do modelo uma vez que todas as intervenções propostas estão previstas pelo IFC.

O segundo, significaria uma mudança na estrutura do IFC o que conduziria a um trabalho maior e mais difícil de implementar. Além disso, ele contraria a diretriz do IFC de separar as informações em conjuntos mais uniformes conforme uma necessidade concreta, evitando que se façam muitas previsões de atributos ou características que depois não serão efetivamente utilizadas. Essa orientação foi confirmada por correspondência mantida com Mr. Jeffrey Wix (Membro do ITM: United Kingdom Technical Coordinator) e outros membros do MSG (informação pessoal).

O terceiro caminho representaria uma redundância no modelo, já que os dados teriam que ser repetidos dentro do novo **Conjunto de Propriedades**.

Uma vez que o primeiro caminho se mostra eficiente e mais de acordo com as diretrizes do modelo IFC, ele foi desenvolvido e será apresentado no próximo capítulo.

Tabela 25 - Trecho da Tabela 12 apresentando as faltas de *Conjuntos de Propriedades* ou *propriedades*

b) Fator de conservação e limpeza do ambiente	Espaço: <ul style="list-style-type: none"> IFCPRODUCTEXTENSION: IfcSpace (Pset_SpaceLightingRequirements: SpaceMaintenanceFactor – nova propriedade)
4) Fator do Reator*	Opção 1: Reator: <ul style="list-style-type: none"> IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS: IfcFlowController IFCELECTRICALDOMAIN: IfcFlowControllerType (Pset_ControllerType: LampBallastFactor – novo conjunto e nova propriedade)
	Opção 2: Lâmpada: <ul style="list-style-type: none"> IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS: IfcFlowTerminal IFCELECTRICALDOMAIN: IfcFlowTerminalType, IfcLampType (Pset_LampEmitterTypeCommon: LampBallastFactor – nova propriedade)
	Opção 3: Luminária: <ul style="list-style-type: none"> IFCSHAREDBLDGSERVICEELEMENTS: IfcFlowTerminal IFCELECTRICALDOMAIN: IfcFlowTerminalType, IfcLightFixtureType (Pset_LightFixtureTypeTest: LampBallastFactor – novo conjunto e nova propriedade)

Tabela 26 - Conjunto de Propriedades Pset_LampEmitterTypeCommon (fonte: documentação do IFC)

Name	Property Type	Data Type	Definition
ContributedLuminousFlux	IfcPropertySingleValue	IfcLuminousFluxMeasure / LUMINOUSFLUXUNIT	Luminous flux is a photometric measure of radiant flux, i.e. the volume of light emitted from a light source. Luminous flux is measured either for the interior as a whole or for a part of the interior (partial luminous flux for a solid angle). All other photometric parameters are derivatives of luminous flux. Luminous flux is measured in lúmens (lm). The luminous flux is given as a nominal value for each lamp.
LightEmitterNominalPower	IfcPropertySingleValue	IfcPowerMeasure / POWERUNIT	Light emitter nominal power.
LampMaintenanceFactor	IfcPropertySingleValue	IfcReal	Non recoverable losses of luminous flux of a lamp due to lamp depreciation; i.e. the decreasing of light output of a luminaire due to aging and dirt.
LampBallastType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_LampBallastType Conventional Electronic LowLoss Other NotKnown Unset	The type of ballast used to stabilise gas discharge by limiting the current during operation and to deliver the necessary striking voltage for starting. Ballasts are needed to operate Discharge Lamps such as Fluorescent, Compact Fluorescent, High-pressure Mercury, Metal Halide and High-pressure Sodium Lamps. Magnetic ballasts are chokes which limit the current passing through a lamp connected in series on the principle of self-induction. The resultant current and power are decisive for the efficient operation of the lamp. A specially designed ballast is required for every type of lamp to comply with lamp rating in terms of Luminous Flux, Color Appearance and service life. The two types of magnetic ballasts for fluorescent lamps are KVG Conventional (EC-A series) and VVG Low-loss ballasts (EC-B series). Low-loss ballasts have a higher efficiency, which means reduced ballast losses and a lower thermal load. Electronic ballasts are used to run fluorescent lamps at high frequencies (approx. 35 - 40 kHz).
LampCompensationType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_LampCompensationType Capacitive Inductive Other NotKnown Unset	Identifies the form of compensation used for power factor correction and radio suppression.

ColorAppearance	IfcPropertySingleValue	IfcLabel	In both the DIN and CIE standards, artificial light sources are classified in terms of their color appearance. To the human eye they all appear to be white; the difference can only be detected by direct comparison. Visual performance is not directly affected by differences in color appearance.
Spectrum	IfcPropertyTableValue	Expression: - Defining Value: IfcNumericMeasure / UNSPECIFIED x1 x2 x3 Defined Value: IfcNumericMeasure / UNSPECIFIED y1 y2 y3	The spectrum of radiation describes its composition with regard to wavelength. Light, for example, as the portion of electromagnetic radiation that is visible to the human eye, is radiation with wavelengths in the range of approx. 380 to 780 nm (1 nm = 10 m). The corresponding range of colours varies from violet to indigo, blue, green, yellow, orange, and red. These colours form a continuous spectrum, in which the various spectral sectors merge into each other.
ColorTemperature	IfcPropertySingleValue	IfcThermodynamicTemperatureMeasure / THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT	The color temperature of any source of radiation is defined as the temperature (in Kelvin) of a black-body or Planckian radiator whose radiation has the same chromaticity as the source of radiation. Often the values are only approximate color temperatures as the black-body radiator cannot emit radiation of every chromaticity value. The color temperatures of the commonest artificial light sources range from less than 3000K (warm white) to 4000K (intermediate) and over 5000K (daylight).
ColorRenderingIndex	IfcPropertySingleValue	IfcInteger	The CRI indicates how well a light source renders eight standard colors compared to perfect reference lamp with the same color temperature. The CRI scale ranges from 1 to 100, with 100 representing perfect rendering properties.

Tabela 27 - Conjunto de Propriedades Pset_LightFixtureTypeCommon (fonte: documentação do IFC)

Name	Property Type	Data Type	Definition
NumberOfSources	IfcPropertySingleValue	IfcInteger	Number of sources
TotalWattage	IfcPropertySingleValue	IfcPowerMeasure / POWERUNIT	Wattage on whole lightfitting device with all sources intact.
LightFixtureMountingType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_LightFixtureMountingType CableSpanned FreeStanding Pole_Side Pole_Top Recessed Surface Suspended TrackMounted Other NotKnown Unset	A list of the available types of mounting for light fixtures from which that required may be selected.
LightFixturePlacingType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_LightFixturePlacingType Ceiling Floor Furniture Pole Wall Other NotKnown Unset	A list of the available types of placing specification for light fixtures from which that required may be selected.
MaintenanceFactor	IfcPropertySingleValue	IfcReal	Maintenance factor.
ManufacturersSpecificInformation	IfcPropertySingleValue	IfcText	Manufacturer specific information.
ArticleNumber	IfcPropertyReferenceValue	IfcClassificationReference	The article number.

8. PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO DO IFC

No capítulo anterior percorreram-se os diversos caminhos possíveis para a ampliação do IFC, tendo em vista uma caracterização mais completa da luminária, e justificaram-se as alternativas escolhidas. Apresenta-se agora a descrição final da proposta de ampliação do modelo que consistirá na complementação dos **Conjuntos de Propriedades** existentes e na definição de novos **Conjuntos de Propriedades**, correspondendo às informações necessárias ao método Lúmen e às presentes no IES LM-63.

Em primeiro lugar é preciso eliminar as redundâncias (itens 4 e 8 da Tabela 12) escolhendo a melhor maneira de fornecer os dados para o método Lúmen e a mais adequada ao modelo, sendo assim:

- Para o **Fator do Reator** (item 4 da Tabela 12), **criar** o **Pset_ControllerType** (propriedade **LampBallastFactor**) para associar ao **IfcFlowControllerType** demonstra ser o melhor caminho, pois se trata de um elemento que pode existir independentemente da luminária, ou seja, a luminária pode não ter um reator e, portanto, não precisar dessa classe no seu modelo.
- Para o **Fluxo de luz (em lúmens) por lâmpada** (item 8 da Tabela 12), verifica-se que ao utilizar a classe **IfcLampType** associada ao **Pset_LampEmitterTypeCommon** (propriedade **ContributedLuminousFlux**), aproveita-se esse **Conjunto de Propriedades** já utilizado para outra propriedade (**LampMaintenanceFactor**) e descarta-se a necessidade de utilização de uma outra classe (**IfcLightSource-Goniometric**) para tratar a lâmpada.

Em seguida, é preciso determinar as alterações aos **Conjuntos de Propriedades** existentes (incorporar propriedades, incluir novas propriedades, modificar propriedades existentes) que fornecem dados para o método Lúmen ou que

completam as informações sobre a luminária conforme o IES LM-63. Seria possível sugerir as seguintes alterações:

Pset_SpaceLightingRequirements:

- **Acrescentar** o Fator de Manutenção do local: **SpaceMaintenance-Factor**

Pset_LightFixtureTypeCommon:

- **Eliminar** a propriedade **NumberOfSources**
- **Acrescentar:**
- Ângulos de medição e os correspondentes Fatores multiplicadores devidos à inclinação (TILT): **TiltAnglesAndFactors**
- Multiplicador candela: **CandelaMultiplier**
- Geometria lâmpada-luminária: **SourceFixtureGeometry**
- Forma da região luminosa: **GlareShape, GlareLengthOr-Diameter, GlareWidth, GlareHeight.**
- Posição do centro de distribuição luminosa: **LightCenterPosition**
- Características adicionais previstas no IES LM-63: **TestId, LaboratoryTestName, TestDate e FixtureDescription. ManufacturersSpecificInformation, ArticleNumber** já são contemplados nesse *Conjunto de Propriedades*.
- Características adicionais possíveis no IES LM-63: **LightFixtureMountingType.** Já contemplada nesse *Conjunto de Propriedades*.

Por fim é preciso determinar os novos *Conjuntos de propriedades* e as correspondentes propriedades:

Pset_ControllerType

- Fator do Reator: **LampBallastFactor**

Ao determinar as propriedades, é preciso definir o seu **tipo de propriedade** e o seu **tipo de dado**.

Alguns tipos de dados são enumerações que tem que ser definidas como tais antes de serem utilizadas, ou seja, tem que possuir um nome e os valores possíveis. Assim sendo, as enumerações que surgem são: **PEnum_SourceFixtureGeometry**, **PEnum_GlareShape** e **PEnum_LightCenterPosition**.

As figuras 47, 48 e 49 apresentam os **Conjuntos de Propriedades** propostos com as alterações e acréscimos.

Figura 47 - Proposta de Pset_SpaceLightingRequirements – acréscimo de SpaceMaintenanceFactor (fonte: captura de imagem da documentação do IFC modificada pelo autor)

IFC2x2 Property Set Definition Reference

PropertySet Definition:

PropertySet Name	Pset_LightFixtureTypeCommon
Applicability	IfcLightFixtureType entity.
Applicable Classes	IfcLightFixtureType
Applicable Type Value	
Definition	Definition from IAI: Common data for light fixtures.

Property Definitions:

Name	Property Type	Data Type	Definition
LightFixtureMountingType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_LightFixtureMountingType <ul style="list-style-type: none"> • CableSpanned • FreeStanding • Pole_Side • Pole_Top • Recessed • Surface • Suspended • TrackMounted • Other • NotKnown • Unset 	A list of the available types of mounting for light fixtures from which that required may be selected.

Figura 48 - Proposta de Pset_LightFixtureTypeCommon – acréscimo de várias propriedades e retirada de NumberOfSources (fonte: captura de imagem da documentação do IFC modificada pelo autor)

LightFixturePlacingType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_LightFixturePlacingType <ul style="list-style-type: none"> • Ceiling • Floor • Furniture • Pole • Wall • Other • NotKnown • Unset 	A list of the available types of placing specification for light fixtures from which that required may be selected.
MaintenanceFactor	IfcPropertySingleValue	IfcReal	Maintenance factor.
ManufacturersSpecificInformation	IfcPropertySingleValue	IfcText	Manufacturer specific information.
ArticleNumber	IfcPropertyReferenceValue	IfcClassificationReference	The article number.
TiltAnglesAndFactors	IfcPropertyTableValue	Defining Value: IfcPlaneAngleMeasure / RADIAN Defined Value: IfcReal /	Angles and Factors depending on fixture tilt.
CandelaMultiplier	IfcPropertySingleValue	IfcReal <ul style="list-style-type: none"> • Default Value: 1 	Multiplier to correct luminous intensity due to differences with the test.
SourceFixtureGeometry	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_SourceFixtureGeometry <ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2 • 3 	1: Lamp base is either vertical base up or vertical base down when the luminaire is aimed straight down. 2: Lamp is horizontal and remains horizontal when the luminaire is aimed straight down or rotated about the zero-degree horizontal plane; 3: Lamp is horizontal when the luminaire is pointed straight down, but does not remain horizontal when the luminaire is rotated about the zero-degree horizontal plane.

Figura 48 - Proposta de Pset_LightFixtureTypeCommon (continuação).

GlareShape	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_GlareShape <ul style="list-style-type: none"> Point Rectangular Circular Sphere Vertical_cylinder Horizontal_cylinder_oriented_along_luminaire_length Horizontal_cylinder_oriented_along_luminaire_width Ellipse_oriented_along_luminaire_length Ellipse_oriented_along_luminaire_width Ellipsoid_oriented_along_luminaire_length Ellipsoid_oriented_along_luminaire_width 	Glare Shape Surface.
GlareLengthOrDiameter	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveLengthMeasure / MM	Glare Length or diameter.
GlareWidth	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveLengthMeasure / MM	Glare Width.
GlareHeight	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveLengthMeasure / MM	Glare Height.
LightCenterPosition	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_LightCenterPosition <ul style="list-style-type: none"> CeilingPlane LuminousOpen LuminaireCentroid GeometricLampCenter 	Descriptive light source center position relative to fixture.
TestId	IfcPropertySingleValue	IfcIdentifier	Test identification code
LaboratoryTestName	IfcPropertySingleValue	IfcLabel	Laboratory test name
TestDate	IfcPropertyReferenceValue	IfcCalendarDate	Photometric test date
FixtureDescription	IfcPropertySingleValue	IfcText	Other luminaire detailed description like finishings, reflector type, color, etc.

Copyright (c) 2000 - 2004 International Alliance for Interoperability

Done My Computer

Figura 48 - Proposta de Pset_LightFixtureTypeCommon.

Figura 49 - Proposta de novo Pset_ControllerType com nova propriedade LampBallastFactor (fonte: captura de imagem da documentação do IFC modificada pelo autor)

9. CONCLUSÃO

O objetivo de chegar a uma proposta consistente de ampliação do modelo IFC referente ao elemento luminária e aos objetos relacionados a ele, apresentados detalhadamente nos capítulos 7 e 8, foi alcançado.

Chegar a essa proposta, ainda que aparentemente pequena, de ampliação de um trabalho complexo e vasto como é o modelo IFC, implicou em um estudo amplo e bastante diversificado. Resumidamente, os passos deste estudo resultaram em:

- Documentação, após investigar o seu histórico, dos esforços de modelagem de dados sobre produtos de AEC em andamento e dos mais promissores, dentre os quais se destaca o IFC (Capítulos 1 e 2).
- Aprofundamento no conhecimento de todas as implicações relativas ao uso e à ampliação do IFC, especialmente em aplicações relacionadas a cálculos de iluminação. Para isso foi necessário compreender a abordagem de Orientação a Objetos tanto no que diz respeito ao modelo IFC, que implementa diversas de suas características, quanto à programação computacional, ou seja, programas de computador que seguem a Orientação a Objetos e que utilizam o modelo IFC como fonte de dados (Capítulos 3 e 4).
- Análise detida das particularidades dos modelos de dados sobre as luminárias (IESNA, CIE, CIBSE, EULUMDAT), documentadas no capítulo 5. A partir daí foi possível estabelecer o conjunto desses dados a ser aproveitado pela ampliação do modelo IFC.
- Documentação dos resultados da pesquisa sobre os métodos de cálculo de iluminação, no capítulo 6, registrando os argumentos para a seleção daquele que melhor corresponde a uma tarefa freqüente em AEC e que exige uma quantidade e um tipo de dado cuja obtenção, com o auxílio do modelo, seria de grande valor.

Embora ainda seja necessária a verificação final das propostas pela IAI, o objetivo principal de propor a ampliação do modelo foi atingido e teve como efeito secundário a consecução de vários outros objetivos. Por exemplo, ao contribuir para a evolução do IFC, cuja aplicação já é uma realidade em diversos campos de AEC, abrem-se alguns caminhos para pesquisas relacionadas à interoperabilidade como:

- Experiências relativas ao uso das informações do modelo por equipes multidisciplinares verificando a forma de disponibilização dos dados nos diversos meios (como na Internet, por exemplo), aos modos de alcançar um melhor aproveitamento das informações pelas diversas equipes, à hierarquização dos acessos, ao controle e ao incremento das informações, às particularizações regionais, à incorporação das idiossincrasias das equipes, etc.
- Evolução do modelo nos domínios das aplicações, isto é, no âmbito das especialidades dos diversos agentes envolvidos. Assim, as áreas já existentes no modelo (ar condicionado, instalações elétricas, estruturas, gerenciamento de construção, arquitetura, etc.) podem ser incrementadas e novas áreas podem ser acrescentadas.

Por ocasião deste trabalho, o contato mantido com o ITM através de Mr. Jeffrey Wix permitiu confirmar o objetivo da IAI de promover a participação de pesquisadores e desenvolvedores dos mais diversos lugares como forma de popularizar o modelo e, conseqüentemente, de identificar pontos e empreender esforços para tornar o modelo cada vez mais universal e eficiente.

Um bom suporte para a interoperabilidade permitirá uma eficiência maior não só no intercâmbio de informações, mas também na utilização racionalizada das ferramentas computacionais de apoio às tarefas relativas ao ciclo de vida de uma edificação. A Tecnologia de Informação aplicada aos diversos campos de AEC tem dado muitos passos e ainda deve dar muitos outros como, por exemplo, os mencionados em [Nascimento; Santos \(2001\)](#). A maioria desses passos necessita o

suporte de um modelo de informação eficiente e seguro, e o IFC demonstra ser uma resposta a essa necessidade.

O contato com o ITM também revelou que a IAI tem a pretensão de criar um departamento brasileiro. A presença de pesquisadores e desenvolvedores de software do país nesse departamento representará a inserção em um ambiente de pesquisa internacional bastante atual, cujos benefícios poderão ser rapidamente percebidos. Neste trabalho também procurou-se fornecer um bom suporte inicial para os que se envolverem nesse projeto.

Teses como (KERN, 1997), (MICALI, 2000), (MELHADO, 2001) e (JACOSKI, 2003), e eventos como o “Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios” e o “Seminário de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil” são exemplos dos esforços nacionais feitos para avançar no conhecimento e no domínio de temas relacionados à Tecnologia da Informação em AEC. Este trabalho dá continuidade a esses esforços, tanto no que se refere à aplicação da tecnologia no mercado, quanto às colaborações acadêmicas em nível internacional.

As propostas deste trabalho serão submetidas ao IAI, para análise e aprovação. A continuidade dele deve identificar mais alguns elementos que necessitam ampliações também em outras especialidades como a de sistemas de ar condicionado, por exemplo, ampliando o espectro das contribuições ao modelo IFC. Ao seguir a sistemática de ampliação do IFC estabelecida pela IAI, e ao fazer um trabalho criterioso e bem fundamentado, tem-se a certeza de que as propostas serão incorporadas, passando a integrar esse modelo amplo que, se ainda não é, certamente se tornará o padrão de intercâmbio de informações em AEC.

LISTA DE REFERÊNCIAS

ADACHI, Y. **"IFC 2x property set development guide"**. Technical Report MSG-01- Draft 2. International Alliance for Interoperability. 2001.

_____ **"IFC Model Server Development Project"**. web page. Disponível em: <<http://cic.vtt.fi/projects/ifcsvr/>>. Acesso em: maio/2005.

ASHDOWN, Ian. **"Parsing the IESNA LM-63 Photometric Data File"**. byHeart Consultants Limited. 1998.

_____ **"Thinking Photometrically Part II"**. LIGHTFAIR 2001 Pre-Conference Workshop. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **"NBR 5461"**. São Paulo. 2002.

BOOCH, G. **"Object-oriented design with applications"**. Redwood City (CA). ed.: Benjamin Cummings Publishing Company. 1991.

BUILDING TECHNOLOGIES DEPARTMENT – ENVIRONMENTAL ENERGY TECHNOLOGIES DIVISION. **"User's Guide to the Building Design Advisor Version 3.0 "**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA. 2001.

CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. **"CIBSE TM14:1988, Standard File Format for the Electronic Transfer of Luminaire Photometric Data."**. 1988.

CHEN, Po-Han; CUI, Lu ; WAN, Caiyun; YANG, Qizhen; TING, Seng Kiong; TIONG, Robert L.K. **"Implementation of IFC-based web server for collaborative building design between architects and structural engineers"**. Automation in Construction. vol. 14, pp. 115-128. 2005.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **"CIE Technical Report: Recommended File Format for Electronic Transfer of Luminarie**

Photometric Data". CIE Publication 102-1993. ISBN 3-900-734-40-2. 1993.

EASTMAN, C. M.; SIABIRIS, A. **"A generic building product model incorporating building type"**. Automation in Construction. vol. 3, n. 4, pp. 283-304. 1995.

EASTMAN, C.; WANG, F.; YOU, S.-J.; YANG, D. **"Deployment of an AEC industry sector product model"**. Computer-Aided Design. pp. 1-15. ed.: Elsevier Science. 2005.

EKHOLM, Anders. "A conceptual framework for classification of construction works". Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). vol. 1, pp. 25-50. Disponível em: <<http://www.itcon.org/1996/2>>. Acesso em: maio/2005. 1996.

FABRICIO, Márcio M.; MELHADO, Silvio B. **"Desafios Para Integração do Processo de Projeto na Construção de"**. In: II Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. São Carlos, SP, Brasil, 22 e 23 de Novembro. 2001.

FAN, Su-Ling; TSERNG, H.P.; WANG, Ming-Teh. **"Development of an object-oriented scheduling model for construction projects"**. Automation in Construction. vol. 12, pp. 283-302. 2003.

FERREIRA, S. L. **"Base de dados espacial computadorizada para o Projeto Colaborativo na área de Edificações"**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 1998.

FLEMMING, Ulrich; ERHAN, Halil; OZKAYA, Ipek. **"Object-oriented application development in CAD: a graduate course"**. Automation in Construction. vol. 13, pp. 147-158. ed.: Elsevier Science. 2004.

FROESE, FISCHER, GROBLER, RITZENTHALER, YU, SUTHERLAND, STAUB, AKINCI, AKBAS, KOO, BARRON, AND KUNZ, . **"Industry Foundation Classes for Project Management - A Trial Implementation"**.

Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). vol. 4, pp.17-36. Disponível em: <<http://itcon.org/1999/2/>>. 1999.

FROESE, Thomas. **"Future Directions For IFC-Based Interoperability"**. Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). Vol. 8, July. ed.: Väino Tarandi. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2003/17>>. 2003.

GALLE, Per. **"Product Modeling for Building Design. Annotated Bibliography"**. CABDU Report. First Edition - ISSN 0908 - 7338. Lyngby: Computer Aided Building Design Unit, c/o Department of Planning, Technical University of Denmark, Building 116, DK-2800 Lyngby, Denmark. 1994.

GU, P. and CHAN, Kam. **"Product modelling using STEP"**. Computer Aided Design. vol 27, pp. 163-179. ed.: Elsevier Science. 1995.

HALFAWY, M.; FROESE, T. **"Modeling and Implementation of Smart AEC Objects: An IFC Persective"**. In: CIB W78 2002 Conference. Aarhus, Denmark, June 12-14. 2002.

HENDRICX, A. **"Shape, Space and Building Element: Development of a Conceptual Object Model for the Design Process"**. In: 15th European Conference on Education in Computer Aided Architectural Design, Challenges of the Future. CD Rom publication. Vienna, Austria, 17-20 September. ed.: MARTENS B., LINZER H. & VOIGT A. 1997.

HENDRICX, A.; NEUCKERMANS, H. **"About objects and approaches: a conceptual view on building models"**. In: 8th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, CAAD futures. pp. 133-148. Atlanta, Georgia, June 7-8. ed.: AUGENBROE, G., EASTMAN CH. 1999.

_____ **"A model-driven approach to the development of an architectural object model"**. Artificial Intelligence in Engineering. vol. 15, pp. 195-205. ed.: Elsevier Science. 2001.

HIREMATH, Harish R.; SKIBNIEWSKI, Mirosław J. **"Object-oriented**

modeling of construction processes by unified modeling language". Automation in Construction. vol. 13, pp. 447-468. ed.: Elsevier Science. 2004.

HOVESTADT, Volkmar; HOVESTADT, Ludger. **"The ARMILLA project".** Automation in Construction. 8, pp. 325-337. ed.: Elsevier Science. 1999.

HOWARD, Rob. **"Use of Information Technology in Building".** IT BAROMETER SURVEY 2001, DENMARK – 22 June 2001, ITbyg, BYG.DTU. Technical University of Denmark. 2001.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **"IES Recommended Procedures for Calculating Coefficients of Utilization, Wall and Ceiling Cavity Exitance".** IES Publication LM-57. New York, NY. ed.: Illuminating Engineering Society of North America. 1982.

_____ **"IES Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data".** IES Publication LM 63-1986. New York, NY. ed.: Illuminating Engineering Society of North America. 1986.

_____ **"IES Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information".** IES Publication LM 63-1991. New York, NY. ed.: Illuminating Engineering Society of North America. 1991.

_____ **"IES Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information".** IES Publication LM 63-1995. New York, NY. ed.: Illuminating Engineering Society of North America. 1995.

_____ **"IES Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information".** IES Publication LM 63-2002. New York, NY. ed.: Illuminating Engineering Society of North America. 2002.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION. **"ISO**

10303-42 1994: Industrial automation systems and integration-product data representation and exchange". 1994a.

_____ **"Product Data Representation and Exchange. Part 11: EXPRESS Language Reference Manual Document". November. 1994b.**

INTERNATIONAL ALLIANCE FOR INTEROPERABILITY.
"Transposing the IFC2x Specification as ISO Standard - 2001". Disponível em:
 <http://www.tc184-sc4.org/SC4_Open/Projects/maindisp.cfm>. Acesso em:
 maio/2005. 2001.

_____ **"IAI Web Site".** web page. Disponível em: <<http://www.iai-international.org>>. Acesso em: maio/2005. 2005.

JACOSKI, Cláudio Alcides. **"Integração e Interoperabilidade em Projetos de Edificações - Uma implementação com IFC/XML".** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.

KAHN, Hilary; FILER, Nick; WILLIAMS, Alan; WHITAKER, Nigel. **"A generic framework for transforming EXPRESS information models".** Computer Aided Design. vol. 33, pp. 501-510. ed.: Elsevier Science. 2001.

KATRANUSCHKOV, Peter; GEHRE, Alexander; SCHERER, Raimar J.
"An Ontology Framework to Access IFC Model Data". Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). Vol. 8, October. ed.: Robert Amor and Ricardo Jardim-Gonçalves. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2003/29/>>. 2003.

KERN, V.M. **"Manutenibilidade da Semântica de Modelos de Dados de Produtos Compartilhados em Rede Interoperável".** Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 1997.

KIM, Inhan; LIEBICH, Thomas, KIM, Seong-Sig. **"Development of a Two Dimensional Model Space Extension for IAI/IFC2.X2 nd Model".** Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). vol. 8, pp. 219-230. ed.:

Väino Tarandi. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2003/16>>. 2003.

KVAN, Thomas. **"Collaborative design: what is it?"**. Automation in Construction. vol. 9, pp. 409-415. ed.: Elsevier Science. 2000.

LEADFORD, K. F. **"IESNA ED-150.5A"**. Education Materials Committee. ed.: Illuminating Engineering Society of North America. 1993.

LUITEN, G.; FROESE, T.; BJÖRK, B-C.; COOPER, G.; JUNGE, R.; KARSTILA, K.; OXMAN, R. **"An Information Reference Model for Architecture, Engineering, and Construction"**. In: First International Conference on the Management of Information Technology for Construction. Singapore, August. 1993.

MELHADO, Silvio B. **"Gestão, Cooperação e Integração para um novo modelo voltado à qualidade do Processo de Projeto na construção de edifícios"**. Tese de Livre-Docência. p. 76. São Paulo. 2001.

MICALI, J. F. M. **"Um modelo para a integração da indústria da Construção Civil"**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da USP. 2000.

MODEL SUPPORT GROUP. **"IFC Extension Modelling Guide 1.01"**. ed.: Jeffrey Wix. Disponível em: <http://www.iai-international.org/iai_international/Technical_Documents/documentation/Ifc2x_EMG/>. Acesso em: maio/2005. 2001.

_____ **"IFC 2x Implementation Guide"**. Version 1.7. March, 18. ed.: LIEBICH, Thomas; FORESTER, James; KARSTILA, Kari; WIX, Jeff. 2004.

NASCIMENTO, Luiz Antonio do; SANTOS, Eduardo Toledo. **"A Contribuição da Tecnologia da Informação ao Processo de Projeto na Construção Civil"**. In: II Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. São Carlos, SP, Brasil, 22 e 23 de Novembro. 2001.

OBJECT MANAGEMENT GROUP. **"UML Resource Page"**. web page. Disponível em: <<http://www.omg.org/uml/>>. Acesso em: maio/2005. 2005.

OWOLABI, ABIDEMI; ANUMBA, CHIMAY J.; EL-HAMALAWI, ASHRAF. **"Architecture for Implementing IFC-Based Online Construction Product Libraries"**. Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). Vol. 8, July. ed.: Väino Tarandi. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2003/15>>. 2003.

PAPAMICHAEL, K.; LAPORTA, J.; CHAUVET, H.; COLLINS, D.; TRZCINSKI, T.; THORPE, J.; SELKOWITZ, S. **"The Building Design Advisor"**. In: ACADIA 1996 Conference. University of Arizona, Tucson, AZ, October 31-November 1. 1996.

PENG, Ting-Kuo; TRAPPEY, Amy J. C. **"A step towards STEP-compatible engineering data management: the data model of product structure and engineering changes"**. Robotics and Computer-integrated Manufacturing. vol. 14, pp. 89-109. ed.: Pergamon - Elsevier Science. 1998.

REA, M. **"Lighting Handbook, Reference & Application"**. Eighth Edition. New York, NY. ed.: Illuminating Engineering Society of North America. 1993.

RÖNNEBLAD, Anders; OLOFSSON, Thomas. **"Application of IFC in Design and Production of Precast Concrete Constructions"**. Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). vol. 8, pp. 167-179. ed.: Väino Tarandi. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2003/13>>. 2003.

RUMBAUGH, J.; BLAHA, M; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W. **"Object-Oriented Modeling and Design"**. ed.: Prentice Hall, Inc. 1991.

SEMENOV, V.; BAZHAN, A.; MOROZOV, S. **"Distributed STEP-Compliant Platform for Multimodal Collaboration in Architecture, Engineering, and Construction"**. In: Xth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. June 02-04 ISBN 3-86068-213-X. Bauhaus-Universität Weimar. ed.: Karl Beucke, Berthold Firmenich, Dirk Donath, Renate Fruchter, Kim Roddis. 2004.

SIMINOVITCH, Michael J. **"REPORT BUILDING DESIGN ADVISOR: Buildings End-Use Energy Efficiency"**. October 1999. California Energy Commission - State Energy Commission.

STOCKMAR, A. W. **"EULUMDAT – ein Leuchtendatenformat für deneuropäischen Beleuchtungsplaner"**. Tagungsband Licht '90. pp. 641–644. 1990.

TARANDI, Väino. **"Editorial: IFC-Product Models for the AEC Arena"**. Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). Vol. 8, July. ed.: Väino Tarandi. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2003/11>>. 2003.

TOLMAN, F. P & POYET, P. **"The ATLAS model"**. In: 1st European Conference on Product and Process Modelling in the Building Industry. Dresden, Germany. 1994.

TOLMAN, F. P et alii. **"Building Project type Model, ESPRIT 7280—ATLAS, revised, public"**. D106-III. May. Disponível em: <<http://newcastle.cabernet.esprit.ec.org/esp-syn/text/7280.html>>. 1995.

TOLMAN, F. P. **"Product modeling standards for the building and construction industry: past, present and future"**. Automation in Construction. vol. 8, pp. 227-235. 1999.

TURK, Ziga. **"Phenomenological foundations of conceptual product modelling in architecture, engineering and construction"**. Artificial Intelligence in Engineering. vol. 15, pp. 83-92. 2001.

ULLMAN, J.D. **"Principles of Database and Knowledge-Base Systems"**. Volume I, p. 32. ed.: Computer Science Press. 1988.

W3C - WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **"Extensible Markup Language (XML)"**. web page. Disponível em: <<http://www.w3.org/XML/>>. Acesso em: maio/2005. 2005.

WAN, Caiyun; CHEN, Po-Han; TIONG, Robert L. K. **"Assessment of IFCs**

for Structural Analysis domain". Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). vol. 9, June. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2004/5>>. 2004.

WEISE, Matthias; KATRANUSCHKOV, Peter; LIEBICH, Thomas; SCHERER, Raimar J. **"Structural Analysis Extension of The IFC Modelling Framework".** Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). vol. 8, July, pp. 181-199. ed.: Väino Tarandi. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2003/14>>. 2003.

YANG, QZ. **"IFC-Compliant Design Information Modeling and Sharing".** Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITcon). vol. 8, pp. 1-14. ed.: Bo-Christer Bjork. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2003/1>>. 2003.

YU, K.; FROESE, T.; GROBLER, F. **"A Development Framework for Data Models for Computer-Integrated Facilities Management".** Automation in Construction. vol. 9, n. 2, pp.145-167. 2000.

ZHA, X.F.; DU, H. **"A PDES/STEP-based model and system for concurrent integrated design and assembly planning".** Computer Aided Design. vol. 34, pp. 1087-1110. ed.: Elsevier Science. 2002.

Apêndice A

A.1 Convenções do Desenvolvimento do Modelo IFC

Esta seção destaca as convenções, regras e linhas-mestras que foram adotadas para o desenvolvimento do IFC 2x. Elas cobrem todas as partes do modelo incluindo o uso da notação gráfica EXPRESS-G, da linguagem de definição de dados EXPRESS, esquema, classes e conjuntos de propriedades. O desenvolvimento do modelo ampliado deve seguir essas convenções.

A.1.1 Linguagem e Notação do IFC

A.1.1.1 Notação Gráfica de Modelagem de Processos

A notação gráfica preferida para modelagem de processos é a IDEF-0 de acordo com o *Federal Information Processing Standard* (FIPS) 183. Ainda que esta seja a notação preferida, outras notações podem ser usadas quando elas satisfaçam os requisitos e/ou o entendimento do grupo que está desenvolvendo o modelo IFC ampliado.

A.1.1.2 Notação Gráfica do Modelo IFC

A notação gráfica usada dentro do Modelo IFC é o EXPRESS-G de acordo com a parte 11 da ISO 10303. A representação do Modelo IFC em EXPRESS-G é informativa.

A.1.1.3 A Notação de Definição de Dados do IFC

A linguagem de definição de dados usada dentro do Modelo IFC e suas extensões é o EXPRESS de acordo com a parte 11 da ISO 10303. A representação do Modelo IFC na linguagem EXPRESS é a representação formal (normativa).

A.1.1.4 Uso do Inglês

A língua utilizada no desenvolvimento e na documentação do Modelo de Objetos do IFC é o Inglês. A ortografia de todas as palavras segue as convenções em uso no Inglês Americano. Ou seja, o uso do ‘z’ em palavras como *organization*, uso do ‘or’ em palavras como *color* e *labor*, etc.

A.1.1.5 Nomenclatura

A.1.1.5.1 Letra dos Nomes

Todos os nomes de esquemas, classes, conjuntos de propriedades, relacionamentos, enumerações, tipos de seleção, tipos de definição de dados, atributos, funções e regras são escritos em maiúsculas e minúsculas como uma só palavra sem espaços. O primeiro caractere de cada palavra em uso normal é escrito em maiúscula. Todos os outros caracteres que formam parte da mesma palavra em uso normal são escritos em minúsculas.

A.1.1.5.2 Tamanho dos Nomes

Não há restrições para o tamanho dos nomes usados no Modelo IFC.

A.1.1.5.3 Prefixo Ifc

Todos os nomes de esquemas, classes, enumerações, tipos de seleção, tipos de definição de dados e funções possuem o prefixo ‘Ifc’ para identificar seu uso dentro do Modelo IFC. Note que o prefixo ‘Ifc’ NÃO deve ser acrescentado aos nomes dos atributos e relacionamentos ou a nomes de Conjuntos de Propriedades (veja a regra *Pset Prefix* abaixo).

A.1.1.5.4 Nomes de Esquema

Os esquemas são identificados como as camadas dentro da Arquitetura Técnica do IFC na qual eles existem como parte do esquema como se segue:

- Um esquema na camada de recursos tem o termo '*Resource*' agregado, por exemplo, esquema *IfcGeometryResource*
- Um esquema na camada central tem o termo '*Extension*' agregado (exceto para o esquema *IfcKernel*), por exemplo, esquema *IfcProcessExtension*
- Nomes de esquemas na camada de interoperabilidade são definidos pela concatenação dos seguintes elementos:
 - O prefixo '*Ifc*'
 - O termo '*Shared*'
 - Um nome descrevendo o conteúdo da informação do esquema
 - O sufixo '*Elements*', por exemplo, esquema *IfcSharedBldgServicesElements*
 - Um esquema na camada de domínio tem o termo '*Domain*' agregado, por exemplo, esquema *IfcFacilitiesMgmtDomain*

A.1.1.5.5 Sufixo Enum

Os nomes de todos os tipos de dados de enumerações recebem o sufixo '*Enum*'. Com exceção a onde uma enumeração é tirada diretamente da série de padrões STEP (ISO 10303), quando o sufixo '*Enum*' não é acrescentado.

A.1.1.5.6 Sufixo Enum para Tipos Genéricos

Uma enumeração que é usada para especificar a existência de Conjuntos de Propriedades dirigidas a tipos tem o sufixo '*TypeEnum*'.

A.1.1.5.7 Sufixo Select

Os nomes de todos os tipos de dados SELECT recebem o sufixo ‘*Select*’, com exceção a onde o tipo SELECT é tirado diretamente da série de padrões STEP (ISO 10303), quando o sufixo ‘*Select*’ não é acrescentado ao nome dado pelo padrão.

A.1.1.5.8 Nomes de Classes

O nome de uma classe (a não ser uma classe de relacionamento) é um substantivo ou combinação de substantivos, denotando o *conteúdo* ou o *tipo* da classe, por exemplo, *IfcGroup*.

A.1.1.6 Nomes de Classes de Relacionamento (nas camadas Central, de Interoperabilidade e de Domínio)

Para todos os esquemas nas camadas central (*core*), interoperabilidade (*interoperability*) e domínio (*domain*) da arquitetura técnica do IFC, as classes de relacionamento são denominadas como se segue: o nome de uma classe de relacionamento contém o termo ‘*Rel*’ seguindo o prefixo ‘*Ifc*’ e depois o nome do *conteúdo* da classe. O nome do *conteúdo* da classe de relacionamento é um verbo que denota sua *função*, por exemplo, *IfcRelGroups*.

A.1.1.7 Nomes de Classes de Relacionamento (na camada Resource)

Para todos os esquemas na camada de recursos (*resource*) da arquitetura técnica do IFC, classes de relacionamento são denominadas como se segue: O nome de uma classe de relacionamento contém o nome que razoavelmente descreve o conteúdo do relacionamento seguindo o prefixo ‘*Ifc*’. O sufixo ‘*Relationship*’ é agregado depois do nome do *conteúdo* da classe, por exemplo, *IfcActorRelationship*.

A.1.1.7.1 Prefixo Pset

O nome de um conjunto de propriedades é definido por uma classe, exceto aquelas que receberam o prefixo '*Pset_*'.

A.1.2 Supertipo/Subtipo Subtipos

Um subtipo é uma especialização de exatamente um supertipo.

A.1.3 Restrição de Exclusão nos Supertipos

Um supertipo é restrito de forma que ele só pode ser instanciado exclusivamente por um de seus subtipos. Ou seja, a restrição do supertipo ONEOF deve ser usada.

A.1.4 Atributos Redefinidos

Os atributos definidos em um nível de supertipo não são redefinidos no nível de subtipos.

A.1.5 Agregação Opcional

Relacionamentos de Agregação (LIST, SET, BAG) que podem ser especificadas como vazios são definidos como relacionamentos opcionais com a cardinalidade de um para muitos.

A.1.6 Tipos de dados

Todos os atributos que determinam um tipo de dados simples (INTEGER, REAL, STRING, LOGICAL) devem ser especificados como tipos de dados definidos.

A.1.7 Relacionamentos

Os relacionamentos entre classes que são subtipos do *IfcObject* (em qualquer nível) devem ser definidos preferentemente através do uso de uma classe de relacionamento.

A.1.7.1 Relacionamentos Através dos Limites dos Esquemas

Os relacionamentos entre classes que atravessam os limites dos esquemas são gerenciados pelas classes de relacionamento.

A.1.7.2 Relações Muitas para Muitas

Relações muitas para muitas são resolvidas por relações uma para muitas ou uma para uma ao introduzir uma classe de relacionamento.

A.1.8 Referências Entre Camadas

Uma classe pode referenciar ou usar uma classe numa mesma ou numa camada abaixo dentro da Arquitetura Técnica do IFC, mas pode não referenciar ou usar uma classe de uma camada superior. Atualmente a ordem das camadas na Arquitetura Técnica do IFC é (começando da mais baixa):

- Resource layer (Camada de recursos)
- Core layer (Camada central)
- Interoperability layer (Camada de interoperabilidade)
- Domain layer (Camada de domínio)

Apêndice B

B.1 EXPRESS Definition Language for IFC Development

EXPRESS is a conceptual schema language which provides for the specification of classes belonging to a defined domain, the information or attributes pertaining to those classes (colour, size, shape etc.) and the constraints on those classes (unique, exclusive etc.). It is also used to define the relations which exist between classes and the numerical constraints applying to such relations.

B.1.1 EXPRESS Layout

EXPRESS uses the semi-colon character ; to terminate an expression. Whitespace and carriage returns are ignored in interpreting or checking the validity of an EXPRESS schema but they can be used to improve the layout of the schema so that it is human readable.

The following examples are exactly equivalent. However, the use of whitespace and carriage returns in the first example makes it much easier to read than the second example.

```
ENTITY IfcClassification;
ClassificationPublisher : IfcString;
ClassificationTable : IfcString;
ClassificationNotation : IfcString;
ClassificationDescription : IfcString;
END_ENTITY;
ENTITY IfcClassification; ClassificationPublisher : IfcString; ClassificationTable :
IfcString; ClassificationNotation : IfcString; ClassificationDescription : IfcString;
END_ENTITY;
```

B.1.2 Classes

EXPRESS is used to define classes. Within the class definition, all the attributes and behaviors which characterize it are declared. A class is declared by the keyword `ENTITY` and terminated by the keyword `END_ENTITY`.

An entity declaration creates a class and gives it a name. The declaration is terminated by

```
END_ENTITY;
ENTITY IfcOwnerID;
.....
END_ENTITY;
```

Attributes are the characteristics (data or behaviour) which are required to support use and understanding of the class. Attributes may be represented by simple data types (such as real, string, integer), or by other classes. Each attribute has a relationship with the class.

An attribute represented by a simple data type can be shown in EXPRESS by its data type.

```
ENTITY IfcOwnerID;
Identifier : IfcString;
OwningApp : IfcString;
OwningUser : IfcActor;
END_ENTITY;
```

B.1.3 Simple Data Types

A simple data type represents the atomic unit of data. Allowed simple data types are:

- **REAL:** Decimal numbers (e.g. 2.56). The decimal point must be present even if a number declared as **REAL** evaluates to a whole number equivalent to an integer (e.g. 2.0).

- **INTEGER:** A whole number not containing a fraction or decimal element (e.g. 2)
- **NUMBER:** A number that may arbitrarily evaluate to either an integer or a real.
- **LOGICAL:** A value which evaluates to TRUE, FALSE or UNKNOWN.
- **BOOLEAN:** A value which evaluates to TRUE or FALSE only.
- **BINARY:** A sequence of bits, each of which may have the value 0 or 1.
- **STRING:** A sequence of characters. Case of the character is significant.

B.1.4 Attributes

An attribute represented by a relationship to another class is shown by the name of the relationship and the name of the class with which the relationship exists (in the direction of the relationship). Thus for an `IfcLayeredElement` with a `MaterialLayerSet` which is declared as a class in its own right, EXPRESS takes the form:-ENTITY

```
IfcLayeredElement
...
MaterialLayerSet : IfcMaterialLayerSet;
...
END_ENTITY;
```

B.1.5 Cardinality Constraints

EXPRESS allows numerical relations to be mandatory or optional. A mandatory attribute which must be asserted is expressed by there being no prefix term before the attribute name as in the example above.

An optional attribute that may be asserted is expressed by the word **OPTIONAL** appearing as a prefix term before the attribute name

```
ENTITY IfcLayeredElement
```

```

...
TotalAreaPerSide : OPTIONAL IfcAreaMeasure;
TotalVolume : OPTIONAL IfcVolumeMeasure;
TotalLength : OPTIONAL IfcLengthMeasure;
...
END_ENTITY;

```

B.1.6 Aggregation

A number of aggregation relations are supported. These include:

- **ARRAY**: a fixed size collection of things with order represented as A[1:?].
- **BAG**: a collection of things with no order and allowed duplication represented as B[1:?].
- **LIST**: a collection of things with order (sequence) represented as L[1:?].
- **SET**: a collection of things with no order and no duplication represented as S[1:?].

```

ENTITY IfcLayeredElement
...
ImplGeoTopStartHeights : LIST [1:?] OF IfcLengthMeasure;
ImplGeoTopEndHeights : LIST [1:?] OF IfcLengthMeasure;
...
END_ENTITY;

```

Within the IFC specification, LIST and SET are the most widely used aggregations.

The above example indicates that there must be at least one start height and one end height for a layered element but that there may be any number (the maximum limit is unspecified as identified by the ? character). If the maximum number of list elements was limited, this would be identified by including the upper bound in place of the unspecified character:

```

ImplGeoTopStartHeights: LIST [1:7] OF IfcAttLength;

```

B.1.7 Inverse Rule

Attributes explicitly capture a relation between classes and attributes. Inverse relations can also be captured between a class and a named attribute of another class or between two classes.

```
ENTITY IfcProjectObject
...
ResultOf : SET [0:?] OF IfcProcessObject;
...
UNIQUE
UR1: OwnerID;
END_ENTITY;
ENTITY IfcProcessObject;
...
INVERSE
ResultsIn : SET[0:?] OF IfcProjectObject FOR ResultOf;
END_ENTITY;
```

Note the use of the INVERSE keyword to define the inverse relation

B.1.8 Unique Rule

EXPRESS allows for the uniqueness of attributes to be defined by a 'unique rule'. This specifies that the value of an attribute which is declared to be UNIQUE is associated with only one instance of that class (object). Where more than one attribute is described as unique, each must be included in the UNIQUE declaration.

```
ENTITY IfcProjectObject
...
UNIQUE
UR1: OwnerID;
END_ENTITY;
```

B.1.9 Derive Rule

In some cases, it is appropriate to include an attribute which can be computed directly from other attributes. This can be achieved through use of derived attributes which are declared following the DERIVE keyword. The following example also introduces the use of function IfcTotalWidth to calculate the derived value:

```

ENTITY IfcLayeredElement
...
DERIVE
ImplGeoTotalWidth : IfcLengthMeasure := IfcTotalWidth
(SELF.MaterialLayerSet);
END_ENTITY;

```

B.1.10 Domain Rule

This is used to provide constraints on the values which attributes may have and is defined following the WHERE keyword. In the example below, the class can only exist if all three lists have the same number of members. This is used to ensure that those lists actually correspond, i.e. that for each thickness also an offset and a material is given.

```

ENTITY IfcMaterialLayerSet;
SetName : OPTIONAL IfcString;
Offsets : LIST [1:?] OF IfcLengthMeasure;
Thicknesses : LIST [1:?] OF IfcLengthMeasure;
Materials : LIST [1:?] OF IfcMaterial;
WHERE
WR1 : (HIINDEX(SELF.Offsets) = HIINDEX(SELF.Thicknesses)) AND
(HIINDEX(SELF.Thicknesses) = HIINDEX(SELF.Materials));
END_ENTITY;

```

Arithmetical statements that are available within EXPRESS may be used in conjunction with the domain rule to provide constraints on attribute values. For instance, if the perimeter length of a window was constrained to be less than or equal to 4 metres, the rule would take the form:

```

ENTITY Window
WINDOW_LENGTH : REAL;
WINDOW_HEIGHT : REAL;
WHERE
perimeter : (WINDOW_LENGTH * 2 + WINDOW_HEIGHT * 2) <= 4.0;
END_ENTITY;

```

B.1.11 Subtypes

EXPRESS allows for the classification of a class into subtypes. This defines a parent – child relation in which each subclass (referred to as subtype) contains more specific detail than its parent superclass (referred to as supertype).

```

ENTITY IfcLayeredElement
ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF
(lfcFloor,
lfcRoofSlab,
lfcWall));
...
END_ENTITY;
ENTITY IfcWall;
SUBTYPE OF (IfcLayeredElement);
...
END_ENTITY;

```

Note that the supertype declares the Wall as being 'ONEOF'. This indicates that the layered element is exclusively either a Wall or a Floor or a RoofSlab; it cannot be two or more at the same time. Alternative constraints on subtypes exist, most notably the ANDOR constraint that would allow the layered element to be either a Wall or a Floor or a RoofSlab or any combination of the three subtypes at the same time.

The current use of EXPRESS within IFC excludes all non ONEOF supertype constraints.

Therefore no ANDOR or AND clauses will be found within IFC. EXPRESS supports both, single inheritance and multiple inheritances. Having more than one class within the SUBTYPE clause specifies multiple inheritances. IFC development does not use multiple inheritances.

A supertype may be included for the purposes of classification only, such situations occurring where it may be appropriate to include a supertype within the EXPRESS model for clarity. A supertype included for this purpose is never instanced; only its subtypes are used. In this case, it is known as an abstract supertype. The IfcLayeredElement is an example of an abstract supertype.

B.1.12 Declared Data Types

The type of a data item being used may be declared using a TYPE clause. For certain types of data item, this is necessary whilst for simple data types, it is optional.

For instance, consider a space type that may be selected from an enumerated list of occupied, technical or circulation.

The enumeration is declared as a data type as below:-TYPE

```
IfcSpaceTypeEnum = ENUMERATION OF
(Occupied, Technical, Circulation);
END_TYPE;
```

Note that the use of the TYPE clause causes the declaration of the attribute within the class to be written in the same manner as if the relationship was with another class.

A SELECT data type defines a named collection of other data types. These may be other entities, a list of string values, a list of real values etc. As with enumeration's, only one item from a SELECT list is used by an instance of the class which uses the TYPE.

```
TYPE IfcBuildingSelect = SELECT
(IfcBuilding, IfcBuildingStorey);
END_TYPE;
```

B.1.13 Access to Other Schema

Classes that are defined in schema other than that which is current may be accessed using an EXPRESS interface. This allows schema to be partitioned into manageable parts and enables reuse of schema which may have been previously defined or defined elsewhere. There are two interface possibilities.

The REFERENCE specification allows declarations made in other schema (usually classes) to be referenced but does not make them part of the current schema i.e. the declarations remain remote.

The following indicates the referencing of entities defined in the IFC geometry schema.

```

REFERENCE FROM IfcGeometryResource
(lfcCartesianPoint, lfcBounded_curve,
lfcPolyline, lfcTrimmed_curve,
lfcCompositeCurve, lfcPlacement,
lfcLine, lfcConic,
lfcCircle, lfcEllipse));

```

B.2 Data Modelling Using EXPRESS-G for IFC Development

EXPRESS-G is a graphical modeling notation developed within STEP and used for IFC definition.

It is used to identify classes, the data attributes of classes and the relationships that exist between classes.

EXPRESS-G is directly related to the EXPRESS data definition language. That is, everything that is drawn in EXPRESS-G can be defined in EXPRESS. However, not everything that can be defined in EXPRESS can be drawn in EXPRESS-G.

Figure 1: EXPRESS/EXPRESS-G relationship

This section provides a basic description of the EXPRESS-G notation as used in specifying IFCs, outlining the meaning and use of the various symbols. It is provided for information and to assist readers in understanding the graphical models used for specifying IFCs. It is not a complete reference to the capabilities of EXPRESS-G. Refer to ISO 10303 Part 11: EXPRESS language reference manual for the authoritative description of EXPRESS-G.

B.2.1 Classes

Things in which we are interested are known as classes. EXPRESS-G identifies classes in a rectangular box with solid lines enclosing the name of the class.

Figure 2: Entities

A class requires further information to describe it fully. Once a data specification has been developed for describing one instance of a class (an object), the specification can be generalized to cover all instances of the same class (objects).

B.2.2 Simple Data Types

Simple data types are the atomic parts of EXPRESS and EXPRESS-G; that is, they cannot be subdivided into anything smaller. A simple data type is shown as a solid rectangular box with a double vertical line at the right hand side of the box. The actual name of the data type is enclosed within the box.

BINARY	a sequence of 1 and 0 e.g. 100101
BOOLEAN	true or false (equivalent to 1 or 0)
LOGICAL	true, false or unknown
STRING	a sequence of alphanumeric characters e.g. "Room"
NUMBER	any number either integer or real e.g.
INTEGER	a whole number without decimals e.g. 16
REAL	a rational number including decimals e.g. 16.23, 16.0

Figure 3: Simple Data Types

B.2.3 Attributes and Relationships

Everything that is related to a class is considered to be an attribute or data member. It does not matter whether the attribute is a simple data type as above, a constructed or defined data type (see below) or another class.

Consider a class called `IfcLayeredElement` (this may be used to describe walls, floors and roof slabs as will be shown later). This may have attributes of `TotalLength`, `TotalAreaPerSide` and `TotalVolume`. These attributes may be either mandatory or optional. Mandatory means that whenever an instance of the class is used, a value of that attribute must be given. Optional means that a value may be given but that it is not necessary. In the example below, `TotalLength` is shown as mandatory whilst the other attributes are shown as optional.

Mandatory relations are shown by a solid line between class and attribute. Optional relations are shown by a dashed line between class and attribute. The name of

the relation is written above the line. The circle shows the primary direction of the relation i.e. from IfcLayeredElement to IfcMaterialLayerSet.

Figure 4: Mandatory and Optional Relations

B.2.4 Relationships Between Classes

Relations can also exist between classes. For instance, we could describe a relation between an IfcLayeredElement and a MaterialLayerSet (which describes the layers which make up the layered element) such that ‘AnIfcLayeredElement has one MaterialLayerSet’

Figure 5: Relations Between Classes.

EXPRESS does not allow the use of spaces in a class name or relation. In the above, the relation name has been made into a single word. An alternative is to use the underscore character to simulate a space.

However, this is not within the IFC naming convention for constructs being defined for IFC as part of the specification task. Constructs adopted from other external sources, most notably from STEP integrated resources, may have other naming conventions, currently those constructs uses underscore characters for entity, type and attribute names.

Sometimes, it may seem appropriate to use the same name for several relations that a class may have. This is not allowed in EXPRESS and therefore should never be used in an EXPRESS-G model.

B.2.5 Cardinality and Aggregation

Relationships may be mandatory or optional. These terms describe a numeric quantity to the relationship that is termed 'cardinality'. In the example shown, the mandatory relation identified that an `IfcLayeredElement` must have exactly one `TotalLength` whilst the optional relation identified that an `IfcLayeredElement` may have zero or one `TotalVolume`.

Figure 6: Cardinality and Aggregation

EXPRESS-G allows for relations of greater than one by providing various aggregation methods (or aggregate data types). For instance, a site may have zero, one or more legal descriptions and at least one boundary curve.

Aggregations allowed are:

- **ARRAY:** a fixed size collection of things with order represented as `A[1:?]`.
- **BAG:** a collection of things with no order and allowed duplication represented as `B[1:?]`.
- **LIST:** a collection of things with order and no duplication represented as `L[1:?]`.

- SET: a collection of things with no order and no duplication represented as S[1:?].

The most frequently used aggregations will be SET and LIST. The site example shown uses list which indicates that legal descriptions must occur in a particular order with each list element being unique. If the relation was a SET, uniqueness would still be required but the elements could occur in any order.

The first character in square parentheses in an aggregation is the minimum possible value. The second character is the maximum possible value and may be either a number or the ? character which means indeterminate.

B.2.6 Supertype/ Subtype Relationships

Consider the case where there is a general specification for a class but that this is expanded by particular characteristics of subtypes. For the layered element, wall, floor and roof slab have already been indicated as subtypes. Each subtype has all the characteristics of the layered element acquired by INHERITANCE. However, each subtype may have additional attributes.

Supertype/subtype relations are a special form due to this inheritance capability. Instead of writing "is a" above the line (as in IfcWall 'is a' IfcLayeredElement), a double thickness line is used.

Figure 7: Subtyping

To make the subtypes exclusive, that is an `IfcLayeredElement` may be an `IfcWall` or an `IfcFloor` or an `IfcRoofSlab`, the number 1 is written at the branch of the relation. Subtypes may also be inclusive, that is an `IfcLayeredElement` may be both an `IfcWall` or an `IfcRoofSlab` at the same time, in which case the number is omitted. The IFC Model uses only exclusive subtypes.

In the example, the term (ABS) is used with the `IfcLayeredElement` to indicate that it is an abstract supertype. This means that it cannot exist in itself, only by virtue of its subtypes. Walls, floors and roof slabs are discussed on building sites but layered elements never are. However, the abstract supertype is useful since it enables attributes to be collected at a higher level within the data model and then inherited. Thus, it would be relatively easy to add a new subtype which would also inherit all the general attributes of a layered element.

B.2.7 Inverse Relationships

A complete relation between classes may need to be described in both the normal direction as described above and in the inverse direction. This can be done in EXPRESS-G.

In the example, an `IfcZone` has one or more `IfcSpaceElements` (which may be either a space or a zone). However, since there is no discrimination of zone type indicated such that a zone may be

for security, fire alarm, HVAC etc., an `IfcSpaceElement` may be part of more than one `IfcZone`. In order to fully describe the relation between `IfcSpaceElement` and `Zone`, it must be shown in both directions with the inverse relation being identified by (INV) and placed below the relation line.

The example also shows the relation between building and zone since it is conceivable that a single zone might span several buildings.

Figure 8: Inverse Relations

B.2.8 Enumeration Data Type

An enumerated data type provides for a range of possible values which the attribute may have described in an enumeration list. The attribute may only take one value from the possible range.

It is shown as a rectangular box with dashed lines and a double vertical bar to the right. The name given to the enumeration is written in the box.

The example below shows an enumeration for IfcSpace that allows identification of the generic type of space. In this case, space types are enumerated as occupied, technical or circulation.

Figure 9: ENUMERATION Data Type

B.2.9 Select Data Type

A select data type enables the choice of which direction to follow in the model; in effect, select the class to be used for a purpose. In this sense, it is similar to a supertype/subtype and its construction in EXPRESS-G looks similar. A select is shown

in EXPRESS-G as a rectangular box using dashed lines with a double vertical bar at the left hand end and the name given to the type written in the box.

In the example below, the IfcElementContainer enables consideration of either the site, the building, the building storey, or the space. Therefore any IfcElement can be (directly) part of one of these classes.

Figure 10: SELECT Data Type

B.2.10 Defined Type

A defined data type is used to take the place of a simple data type and is used to make the meaning of the model clearer. An organization may have a description which could take the form of a simple STRING data type. However, it might be more appropriate to make a data type called 'text' which could be used for the description. In this case, text is a type of STRING but is a more convenient way of handling a description. A defined data type is shown in EXPRESS-G as a rectangular box using dashed lines and the name given to the type written in the box.

Figure 11: DEFINED Data Type

B.2.11 Page References

EXPRESS-G can be used for models spanning several sheets of paper. It does this by providing page reference symbols.

Where a relation crosses a page boundary, a means of identifying it is going to and where it has come from is required. These requirements are met by providing page reference symbols.

Reference 'ONTO THIS PAGE' and reference 'ONTO ANOTHER PAGE' symbols are provided.

Both of these symbols are rounded boxes with solid lines.

The 'ONTO ANOTHER PAGE' symbol incorporates the page number of the other page, an index number which must be unique for the page onto which it is connecting, and the name of the entity to which it is connecting. The target page and index numbers are separated by a comma.

Figure 12: ONTO ANOTHER PAGE Reference

The 'ONTO THIS PAGE' connector includes in the box:

- the page number on which the reference entity occurs (which is the current page);
- the index number indicated on the matching 'ONTO ANOTHER PAGE' connector;

- the number of the page which originated the connection contained in parentheses (i.e. the page number on which the matching 'ONTO ANOTHER PAGE' connector exists).

Page Referencing can be used for supertype/subtype hierarchies as well as for aggregation relationships.

Figure 13: ONTO THIS PAGE Reference

The example below shows extensive use of page referencing to another page and from other pages. It also shows page referencing through subtypes. The page number on which this class is described is page 9 as can be seen from the incoming subtype line at the top. This shows that the supertype of IfcLayeredElement is on page 8 where it has the index 1.

Figure 14: Entity With All Attributes ONTO ANOTHER PAGE

B.2.12 Interfaces

An interface implies that there is a requirement in the current model to reference something from another model.

A class or data type that is referenced from another model is shown as a rectangular block using dashed lines containing a rounded box using solid lines. In the rounded box, the name of the model in which the class exists is declared. Following the model name, the name of the referenced class is given separated by a period (.). The referenced class may be given an alias in the current model (although this is not necessary) and this is written in the bottom sector of the rectangular box. The alias is the name by which the class is known in the current model.

In the example below, a geometry model is defined separately to the current model. Classes in the geometry model are referenced by the current model. Note that

this example also demonstrates the use of references onto this page and the use of a select type for IfcUnboundedCurve which can be treated selectively as either a IfcLine or a IfcConic from the geometry model.

Figure 15: Use of the REFERENCE FROM Interface

B.2.13 Domain Rules in EXPRESS-G

Domain rules allow constraints to be placed on attribute values or enable attribute values to be derived. The presence of an asterisk * against a relation name indicates that a WHERE rule applies. In the example below, it applies to the defined data type IfcIdentifier.

Figure 16: Indicating a Rule in EXPRESS-G

A (DER) placed prior to the relation name indicates the presence of a DERIVE rule. In the example below, the rule applied is that AttributeUnits applied to IfcAttLogical are NONE. The (RT) shown on this attribute indicates that it is a redefined

type. This means that the relation has already been described at a higher level in the model but that it is redefined here for use in this situation.

Figure 17: Redefinition and Derived Attribute

B.2.14 List of Symbols