



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Kristinne Rodrigues da Silva

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA
INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NOS TELHADOS DOS CÂMPUS
DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS**

Goiânia, 2018.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Kristinne Rodrigues da Silva

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
PELA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NOS TELHADOS DOS
CÂMPUS DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE GOIÁS

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG
(PPGTPS-IFG) - Dissertação de Mestrado
Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de
Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa:
Energias Renováveis e Engenharia Econômica
Aplicada

Orientador: Prof. Dr. José Luis Domingos

Coorientador: Prof. Dr. Aylton José Alves

Goiânia, 2018.

Si381a Silva, Kristinne Rodrigues da.

Avaliação do potencial de geração de energia elétrica pela instalação de painéis fotovoltaicos nos telhados dos campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás / Kristinne Rodrigues da Silva. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2018.

151 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. José Luis Domingos.

Coorientador: Prof. Dr. Aylton José Alves.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Coordenação do Programa de Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Inclui anexos.

1. Energias Renováveis. 2. Sistemas fotovoltaicos. 3. Energia elétrica. I. Domingos, José Luis (orientador). II. Alves, Aylton José (coorientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. IV. Título.

CDD 333.79

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Kristinne Rodrigues da Silva

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA
INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NOS TELHADOS DOS CÂMPUS DO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG
(PPGTPS-IFG) - Dissertação de Mestrado
Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de
Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa:
Energias Renováveis e Engenharia Econômica
Aplicada

Prof. Dr. José Luis Domingos, IFG (orientador)

Prof. Dr. Aylton José Alves, IFG (coorientador)

Prof. Dr. José Wilson Lima Nerys, UFG

Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues, IFG

Prof. Dr. Marcos Antônio Cardoso de Lima, IFG (suplente, IFG)

Aprovado em: ___/___/___.

À minha família, que gentilmente compreendeu minhas ausências para me dedicar ao trabalho e de forma muito especial a minha mãe, Dona Raimunda Alves Rocha, amiga fiel e companheira, fonte de força e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, que me fortaleceu e renovou as minhas forças, me concedendo a capacidade necessária para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço a meu esposo, Wagner Silva e a meus filhos Kamilla Rodrigues da Silva, Priscilla Rodrigues da Silva e Victor Gabriel Rodrigues da Silva, que tantas vezes demonstraram o seu amor por mim ao perdoar e compreender as minhas ausências em nossos momentos de família. Vocês são meu porto seguro, meu lugar de paz e maiores incentivadores.

Aos meus pais, Irineu Rodrigues e Raimunda Alves Rocha, razão de tudo o que sou, vocês sempre acreditam em mim e esperam muito mais do que posso oferecer. Desejo sempre lhes dar orgulho. Quando pensei em desistir me estenderam a mão, me ergueram e me fizeram continuar.

Aos meus irmãos, cunhada, sobrinha e amigos, que festejam o meu sucesso me impulsionando a seguir em frente e em todo o tempo entenderam as minhas faltas às festas e reuniões.

À minha grande irmã Marlene, sempre presente, que nas incontáveis situações de alegria e de tristeza que passamos juntas, ora sorriu comigo, ora chorou comigo, e nunca me deixou só.

Aos meus professores e orientadores José Luis Domingos e Aylton José Alves que, sem medir esforços, se dedicaram a esta pesquisa apresentando contribuições que me ajudaram a construí-la.

Ao corpo de docentes e colaboradores do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS-IFG) do IFG.

Por sua sabedoria o Senhor lançou os alicerces da terra, por seu entendimento fixou no lugar os céus, por seu conhecimento as fontes profundas se rompem e as nuvens gotejam o orvalho.

(Prov. 3:19-20)

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NOS TELHADOS DOS CÂMPUS DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

Autor: Kristinne Rodrigues da Silva

Orientador: Dr. José Luis Domingos

Coorientador: Dr. Aylton José Alves

RESUMO

Este trabalho se propõe a avaliar a capacidade de geração de energia elétrica que pode ser produzida com a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os telhados dos câmpus do IFG. Os estudos de casos são realizados nos câmpus Águas Lindas, Anápolis, Aparecida de Goiânia, Formosa, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Uruaçu e Valparaíso. A pesquisa está dividida em dois procedimentos: I) simulação de quatro configurações de montagem de painéis e II) avaliação da capacidade de geração de energia elétrica dos câmpus para suprir o consumo e injetar o excedente na rede da concessionária. Os sistemas fotovoltaicos são dimensionados de acordo com a área útil de telhado, definida pelos estudos de sombreamento. Os resultados das simulações mostram que as configurações n° 01 e n° 02 são tecnicamente mais vantajosas nos critérios de aproveitamento da área disponível, manutenção, economicidade e segurança. Os resultados indicam que, exceto o campus Uruaçu, todos os outros câmpus avaliados têm capacidade de gerar energia fotovoltaica em quantidade suficiente para atender o consumo e ainda entregar o excedente na rede da concessionária.

Palavras-chave: Geração Distribuída, Energias Renováveis, Geração Fotovoltaica.

TITLE: EVALUATION OF THE POTENTIAL FOR THE GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY BY THE INSTALLATION OF PHOTOVOLTAIC PANELS ON THE ROOFS OF THE CAMPS OF THE FEDERAL INSTITUTE OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGY OF GOIÁS.

Author: Kristinne Rodrigues da Silva

Adviser: Dr. José Luis Domingos

Co-adviser: Dr. Aylton José Alves

ABSTRACT

This work proposes to evaluate the electric power generation capacity that can be produced with the installation of photovoltaic panels on the roofs of the IFG campus. The case studies are carried out in Águas Lindas, Anápolis, Aparecida de Goiânia, Formosa, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Uruaçu and Valparaíso. The research is divided in two procedures: I) simulation of four panel mounting configurations and II) evaluation of the electric power generation capacity of the campuses to supply the consumption and inject the surplus in the grid of the concessionaire. Photovoltaic systems are dimensioned according to the useful roof area defined by shading studies. The results of the simulations show that the configurations 01 and 02 are technically more advantageous in the criteria of use of the available area, maintenance, economy and safety. The results indicate that, with the exception of the Uruaçu campus, all other evaluated sites have the capacity to generate photovoltaic energy in sufficient quantity to meet the consumption and still deliver the surplus in the concessionaire's grid.

Keywords: Distributed Generation, Renewable Energy, Photovoltaic Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Posicionamento solar nos dias de equinócios e solstícios (MATIAS, 2018)	31
Figura 2.2 - Ângulo da irradiação solar (MATIAS, 2018).....	31
Figura 2.3 - Radiação solar em cada uma das cinco regiões brasileiras (INPE, 2006)	32
Figura 3.1 - Distância entre fileiras de painéis para evitar sombra entre painéis	40
Figura 4.1 - Fluxograma do Procedimento I _ Simulação das configurações de montagem de painéis fotovoltaicos	43
Figura 4.2 - Ambiente de trabalho do software SketchUp	44
Figura 4.3 - Interface do programa Radasol 2.....	48
Figura 4.4 - Painéis montados sobre os telhados no sentido transversal e longitudinal.....	49
Figura 4.5 - Representação gráfica dos painéis instalados no plano dos telhados - configuração n° 01 e n° 02	50
Figura 4.6 - Representação gráfica dos painéis instalados sobre os telhados - configuração n° 03 e n° 04.....	50
Figura 4.7 - Fluxograma do Procedimento II _ Capacidade de suprimento do consumo energético dos câmpus pela geração fotovoltaica.....	52
Figura 5.1 - Disposição dos prédios do Campus Águas Lindas	53
Figura 5.2 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos Administração, Serviços e Sala de Aula 1 e 2.....	55
Figura 5.3 - Vista superior do Campus Anápolis	62
Figura 5.4 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 200, 300, 400, 500 e 600 do Câmpus Anápolis.....	64
Figura 5.5 - Disposição dos prédios Campus Aparecida de Goiânia	67
Figura 5.6 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos Administração, Serviço, Salas de Aula 1 e 2 e Galpão Tecnológico	69

Figura 5.7 - Disposição dos prédios Campus Formosa	73
Figura 5.8 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 200, 300, 400 e 500 e Galpão Tecnológico do Câmpus Formosa	74
Figura 5.9 - Disposição dos prédios Campus Inhumas	78
Figura 5.10 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 100, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 e 1.000 do Câmpus Inhumas	80
Figura 5.11 - Disposição dos prédios Campus Itumbiara.....	83
Figura 5.12 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 100, 200, 300, 400, 500, 600/1 e 600/2 do Câmpus Itumbiara.....	84
Figura 5.13 - Disposição dos prédios Campus Jataí.....	88
Figura 5.14 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 100, 200, 400, 500 e 600 do Campus Jataí.....	89
Figura 5.15 - Disposição dos prédios Campus Luziânia	93
Figura 5.16 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Bl. 200, 300, 400 e 500 do Campus Luziânia	94
Figura 5.17 - Disposição dos telhados do Campus Uruaçu.....	97
Figura 5.18 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 100, 200, 300 e 400	99
Figura 5.19 - Disposição dos prédios do Campus Valparaíso	102
Figura 5.20 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos Administração, Serviço, Salas de Aula 1 e 2 e Laboratório do Câmpus Valparaíso.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Unidades Consumidoras com Geração Distribuída (ANEEL, 2018).....	34
Tabela 4.1 - Especificações técnicas do painel fotovoltaico Canadian Solar, mod. CS6K-270	47
Tabela 5.1 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Águas Lindas	54
Tabela 5.2 - Comparativo entre as configurações nº 01, nº 02, nº 03 e nº 04	56
Tabela 5.3 - Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Águas Lindas.....	58
Tabela 5.4 - Estimativa do potencial de geração fotovoltaica por telhado.....	59
Tabela 5.5 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Águas Lindas.....	60
Tabela 5.6 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Anápolis	62
Tabela 5.7 - Irradiação solar média incidente sobre o Campus Anápolis	63
Tabela 5.8 - Estimativa do potencial de geração fotovoltaica por telhado no Campus Anápolis	65
Tabela 5.9 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Anápolis	66
Tabela 5.10 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Aparecida de Goiânia.....	68
Tabela 5.11 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Aparecida de Goiânia.....	68
Tabela 5.12 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos sala de aula 1 e 2 e administração do Campus Aparecida de Goiânia.....	70
Tabela 5.13 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos serviço e galpão tecnológico do Campus Aparecida de Goiânia	70
Tabela 5.14 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Aparecida de Goiânia nas configurações 01 e 02 nos blocos salas de aula 1 e 2 e administrativo	70
Tabela 5.15 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Aparecida de Goiânia nas configurações 01 e 02 nos blocos serviço e galpão tecnológico	71

Tabela 5.16 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Aparecida de Goiânia	72
Tabela 5.17 - Dados dos telhados do Campus Formosa_ Blocos 200, 300 e 400.....	73
Tabela 5.18 - Dados dos telhados do Campus Formosa_ Bloco 500 e Galpão Tecnológico...	73
Tabela 5.19 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos 200, 300 e 400 do Campus Formosa	75
Tabela 5.20 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos 500 e galpão tecnológico do Campus Formosa	75
Tabela 5.21 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Formosa nas configurações nº 01 e nº 02 nos blocos 200, 300 e 400	76
Tabela 5.22 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Formosa nas configurações nº 01 e nº 02 nos blocos 500 e galpão tecnológico.....	76
Tabela 5.23 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Formosa.....	77
Tabela 5.24 - Dados dos telhados do prédios blocos 100, 300, 400 e 500 do Campus Inhumas	79
Tabela 5.25 - Dados dos telhados do prédios blocos 600, 700, 800, 900 e 1.000 do Campus Inhumas	79
Tabela 5.26 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos 100, 300, 400 e 500 do Campus Inhumas	79
Tabela 5.27 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos 600, 700, 800, 900 e 1000 do Campus Formosa	79
Tabela 5.28 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Inhumas nas configurações nº 01 e nº 02 nos blocos 100, 300, 400 e 500.....	81
Tabela 5.29 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Inhumas nas configurações nº 01 e nº 02 nos blocos 600, 700, 800, 900 e 1000.....	81
Tabela 5.30 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Inhumas.....	82
Tabela 5.31 - Dados dos telhados dos Bl. 100, 200, 300 ,400, 500, 600/1 e 600/2 do Câmpus IFG Itumbiara	85

Tabela 5.32 - Irradiação solar incidente sobre os blocos 100, 200 e 300 do Campus Itumbiara	85
Tabela 5.33 - Irradiação solar incidente sobre os blocos 400, 500 e 600 do Campus Itumbiara	86
Tabela 5.34 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Itumbiara nas configurações 1 e 2 nos blocos 100, 200 e 300	86
Tabela 5.35 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Itumbiara nas configurações 1 e 2 nos blocos 400, 500, 600/1 e 600/2.....	86
Tabela 5.36 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Itumbiara	87
Tabela 5.37 - Dados dos telhados do Câmpus Jataí_ Blocos 100, 200, 400, 500 e 600.....	89
Tabela 5.38 - Irradiação solar média anual sobre os blocos do Campus Jataí	90
Tabela 5.39 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Jataí nas configurações n° 01 e n° 02.....	91
Tabela 5.40 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Jataí	92
Tabela 5.41 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Luziânia	93
Tabela 5.42 - Irradiação solar média incidente sobre o Campus Luziânia.....	94
Tabela 5.43 - Potencial de Produção Energética do Campus Luziânia.....	95
Tabela 5.44 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Luziânia.....	96
Tabela 5.45 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Uruaçu.....	98
Tabela 5.46 - Irradiação solar incidente sobre os blocos 100, 200 e 300 do Campus Uruaçu .	98
Tabela 5.47 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Uruaçu nas configurações n° 01 e n° 02.....	100
Tabela 5.48 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Uruaçu	101
Tabela 5.49 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Valparaíso	101
Tabela 5.50 - Irradiação solar incidente sobre os blocos do Campus Valparaíso	103
Tabela 5.51 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Valparaíso nas configurações n° 01 e n° 02.....	105

Tabela 5.52 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Valparaíso	105
Tabela 5.53 - Síntese do potencial de geração fotovoltaica e consumo dos câmpus	108
Tabela 5.54 - Planejamento de instalação de SFV para atender ao consumo atual dos câmpus	110
Tabela 5.55 - Planejamento de instalação de SFV para compensação de energia entre os câmpus.....	111

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 - Consumo de Energia Campus Águas Lindas (CELG, 2018).....	60
Gráfico 5.2 - Consumo de Energia Campus Anápolis (CELG,2018)	66
Gráfico 5.3 - Consumo de Energia Campus Aparecida de Goiânia (CELG, 2017)	71
Gráfico 5.4 - Consumo de energia do Campus Formosa (CELG,2017).....	77
Gráfico 5.5 - Consumo de energia Campus Inhumas (CELG,2017).....	82
Gráfico 5.6 - Consumo de energia Campus Itumbiara (CELG, 2017)	87
Gráfico 5.7 - Consumo de energia Campus Jataí (CELG,2017)	91
Gráfico 5.8 - Consumo de energia Campus Luziânia (CELG, 2017).....	96
Gráfico 5.9 - Consumo de energia elétrica Campus Uruaçu (CELG, 2017).....	100
Gráfico 5.10 - Consumo de energia elétrica Campus Valparaíso (CELG,2017)	105

ANEXOS

Anexo A - Representação do sombreamento solar sobre o bloco administração durante os solstícios de inverno e verão –Campus Águas Lindas	118
Anexo B - Representação do sombreamento solar sobre o bloco serviço durante os solstícios de inverno e verão –Campus Águas Lindas	120
Anexo C - Representação do sombreamento solar sobre os blocos sala de aula 1 e 2 durante os solstícios de inverno e verão –Campus Águas Lindas	121
Anexo D - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Bloco 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Anápolis	122
Anexo E - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 300, 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Anápolis.....	123
Anexo F - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Galpão Tecnológico durante os solstícios de verão e inverno – Campus Anápolis.....	124
Anexo G - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Administração durante os solstícios de verão e inverno – Campus Aparecida de Goiânia.....	125
Anexo H - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Serviço durante os solstícios de verão e inverno – Campus Aparecida de Goiânia.....	126
Anexo I - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Sala de Aulas 1 e 2 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Aparecida de Goiânia	127
Anexo J - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Galpão Tecnológico durante os solstícios de verão e inverno – Campus Aparecida de Goiânia	128
Anexo K - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Formosa.....	129
Anexo L - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 300, 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Formosa	130
Anexo M - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Galpão Tecnológico durante os solstícios de verão e inverno – Campus Formosa.....	131

Anexo N - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 100 e 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Inhumas.....	132
Anexo O - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 300 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Inhumas.....	133
Anexo P - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 400 e 600 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Inhumas.....	134
Anexo Q - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 700 e 900 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Inhumas.....	135
Anexo R - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 800 e 1.000 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara	136
Anexo S - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 300, 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara	137
Anexo T - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 600 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara	138
Anexo U - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Administração durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara	139
Anexo V - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Serviço durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara	140
Anexo W - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 100 e 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Jataí.....	141
Anexo X - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Jataí.....	142
Anexo Y - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 600 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Jataí	143
Anexo Z - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Luziânia.....	144
Anexo AA - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 300, 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Luziânia.....	145

Anexo BB - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 1.000 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Luziânia.....	146
Anexo CC - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 100 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Uruaçu.....	147
Anexo DD - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 300 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Uruaçu.....	148
Anexo EE - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 400 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Uruaçu.....	149
Anexo FF - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Laboratório durante os solstícios de verão e inverno – Câmpus Valparaíso	150
Anexo GG - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Blocos Serviço e Administração durante os solstícios de verão e inverno – Campus Valparaíso	151

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BM	Banco Mundial
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
GD	Geração Distribuída
HSP	Horas de Sol Pleno
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços
IFG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
NOTC	<i>Normal Operation Cell Temperature</i> (Temperatura Normal de Operação da Célula)
ONS	Operador Nacional do Sistema
PROINFRA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFV	Sistema Fotovoltaico
SIN	Sistema Interligado Nacional
STC	<i>Standart Test Conditions</i> (Condição de Teste Padrão)
TD	Taxa de Desempenho

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO I: APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	25
1.1	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	27
2	CAPÍTULO II: ENERGIA SOLAR – POTENCIAL E EXPLORAÇÃO	29
2.1	ENERGIA SOLAR	29
2.1.1	<i>MOVIMENTOS DA TERRA</i>	29
2.2	ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	31
2.3	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	32
2.4	LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	33
2.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO	35
3	CAPÍTULO IV – PRINCIPAIS CONCEITOS, MODELAGENS E TECNOLOGIAS APLICADAS À GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	37
3.1	PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	37
3.1.1	<i>EFICIÊNCIA DO PAINEL FOTOVOLTAICO</i>	37
3.2	SOMBREAMENTO	38
3.2.1	<i>CÁLCULO DA INCLINAÇÃO ENTRE OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS</i>	39
3.3	CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO	40
3.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO	41
4	CAPÍTULO V – METODOLOGIA	42
4.1	PROCEDIMENTO I – SIMULAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES DE MONTAGEM DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	42
4.1.1	<i>OBTENÇÃO DOS PROJETOS ARQUITETÔNICOS</i>	42
4.1.2	<i>ESCOLHA DOS TELHADOS ADEQUADOS PARA RECEBER OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS</i>	44
4.1.3	<i>LEVANTAMENTO DE DADOS</i>	45
4.1.4	<i>ESTABELECEER A ÁREA DE TELhado ÚTIL PARA A INSTALAÇÃO DAS USINAS SOLARES NOS CÂMPUS</i>	45
4.1.4.1	Estudos de sombreamentos.....	46
4.1.5	<i>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO PAINEL FOTOVOLTAICO CANADIAN SOLAR, MODELO CS6K-270</i>	46
4.1.6	<i>OBTENÇÃO DOS DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA ANUAL INCIDENTE SOBRE O CAMPUS</i>	46

4.1.7	<i>REALIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES DE CONFIGURAÇÃO DE MONTAGENS DE PAINÉIS</i>	47
4.1.7.1	Configurações n° 01 e n° 02:.....	48
4.1.7.2	Configurações n° 03 e n° 04:.....	49
4.1.8	<i>CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DAS SIMULAÇÕES DE CONFIGURAÇÕES DE MONTAGEM</i>	50
4.2	PROCEDIMENTO II – AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPRIMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO DOS CÂMPUS PELA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	51
4.2.1	<i>CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA POR TELHADO</i>	51
4.2.2	<i>LEVANTAMENTO DE DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO DOS CÂMPUS</i>	52
4.2.3	<i>DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPRIMENTO</i>	52
5	RESULTADOS	53
5.1	PROCEDIMENTO I: DEFINIÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE MONTAGEM	53
5.1.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CAMPUS ÁGUAS LINDAS</i>	53
5.1.2	<i>ESTUDO DE SOMBREAMENTO</i>	54
5.1.3	<i>CONFIGURAÇÃO DE MONTAGEM DOS PAINÉIS</i>	55
5.1.4	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS ÁGUAS LINDAS</i>	57
5.1.5	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO CAMPUS ÁGUAS LINDAS</i>	57
5.1.6	<i>AVALIAÇÃO DA MELHOR CONFIGURAÇÃO DE MONTAGEM DOS PAINÉIS</i>	58
5.1.7	<i>CONSUMO ENERGÉTICO DO CAMPUS ÁGUAS LINDAS</i>	60
5.2	PROCEDIMENTO II	61
5.3	CAMPUS ANÁPOLIS	61
5.3.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CAMPUS ANÁPOLIS</i>	61
5.3.2	<i>ESTUDOS DE SOMBREAMENTO</i>	62
5.3.3	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS ANÁPOLIS</i>	63
5.3.4	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NOS TELHADOS DO CAMPUS ANÁPOLIS</i>	63
5.3.5	<i>CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	65
5.4	CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA	67
5.4.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA</i>	67
5.4.2	<i>ESTUDOS DE SOMBREAMENTO</i>	67
5.4.3	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA</i>	68
5.4.4	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA</i>	70
5.4.5	<i>CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	71
5.5	CAMPUS FORMOSA	72
5.5.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CAMPUS FORMOSA</i>	72
5.5.2	<i>ESTUDO DE SOMBREAMENTO</i>	73

5.5.3	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS FORMOSA</i>	75
5.5.4	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO CAMPUS FORMOSA</i>	75
5.5.5	<i>CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	75
5.6	CAMPUS INHUMAS	77
5.6.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CAMPUS INHUMAS</i>	77
5.6.2	<i>ESTUDOS DE SOMBREAMENTO</i>	78
5.6.3	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS INHUMAS</i>	78
5.6.1	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO CAMPUS INHUMAS</i>	79
5.6.2	<i>CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	82
5.7	CAMPUS ITUMBIARA	83
5.7.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CÂMPUS ITUMBIARA</i>	83
5.7.2	<i>ESTUDOS DE SOMBREAMENTO</i>	83
5.7.3	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS ITUMBIARA</i>	85
5.7.4	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO CAMPUS ITUMBIARA</i>	85
5.7.5	<i>CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	86
5.8	CAMPUS JATAÍ	88
5.8.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CAMPUS JATAÍ</i>	88
5.8.2	<i>ESTUDO DE SOMBREAMENTO</i>	89
5.8.3	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS JATAÍ</i>	90
5.8.4	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO CAMPUS JATAÍ</i>	90
5.8.5	<i>CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	90
5.9	CAMPUS LUZIÂNIA DO IFG	92
5.9.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CÂMPUS LUZIÂNIA</i>	92
5.9.2	<i>ESTUDO DE SOMBREAMENTO</i>	92
5.9.3	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS LUZIÂNIA</i>	94
5.9.4	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	94
5.9.5	<i>CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	95
5.10	CAMPUS URUAÇU	96
5.10.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CÂMPUS URUAÇU</i>	96
5.10.2	<i>ESTUDO DE SOMBREAMENTO</i>	97
5.10.3	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS URUAÇU</i>	98
5.10.1	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	98
5.10.2	<i>CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	99
5.11	CAMPUS VALPARAÍSO	101
5.11.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DO CAMPUS VALPARAÍSO</i>	101

5.11.2	<i>SOMBREAMENTO SOLAR</i>	102
5.11.3	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE SOBRE OS TELHADOS DO CAMPUS VALPARAÍSO</i>	102
5.11.1	<i>POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	103
5.11.2	<i>CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	104
5.12	<i>AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NOS CAMPUS</i>	106
6	CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO	112
6.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
	REFERÊNCIAS	114
	ANEXOS	118

1 CAPÍTULO I: APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O acesso à energia elétrica e a disponibilidade do recurso permitiram toda a modernidade que hoje pode ser contemplada e experimentada pela população mundial. Atualmente a energia é insumo fundamental para todos os setores da economia e estimula o avanço tecnológico e o crescimento dos produtos industrializados que melhoram o conforto e a qualidade de vida da população.

Para atender a suas necessidades energéticas, o Brasil tem se valido de diversas fontes que, agrupadas no ano de 2017, atingiram a produção aproximada de 573.458 GWh. As hidrelétricas responderam por 69,9% da produção (ONS, 2018a), e demonstraram que a matriz elétrica brasileira dependente da água, uma fonte renovável e não poluente, porém sujeita às condições meteorológicas e às sazonalidades climáticas.

Especialistas alertam que devido à má utilização, de modo semelhante ao que tem ocorrido no resto do mundo Brasil a água apresenta sinais de escassez e em algumas regiões pode ser considerada um recurso natural raro e de grande valor, confirmando a certeza da importância do gerenciamento dos recursos hídricos (TUNDIZI, 2008).

A relação inversamente proporcional entre menor quantidade de água para geração de energia e aumento do consumo coloca o Brasil em uma situação instável, que atua como empecilho no crescimento e desenvolvimento do país e na qualidade de vida de sua população. Para enfrentar essa situação é necessária a remodelagem da matriz energética brasileira.

Indiscutivelmente, a fonte de energia renovável que o Brasil possui em abundância é a solar. Em todos os pontos do território brasileiro é possível a geração de energia por meio de painéis solares fotovoltaicos. Contudo, apesar da abundância, o recurso não tem sido bem utilizado, pois apenas 0,62% da energia elétrica produzida e utilizada no Brasil é oriunda dos recursos solares (ANEEL, 2018a).

Ciente do grande potencial solar que o Brasil possui, o Governo Federal tem editado medidas legais para estimular mudanças na matriz energética que que influenciam a geração, co-geração e a geração distribuída. Criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFRA, um programa pioneiro instituído com o objetivo de conectar autoprodutores de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional – SIN, estimulados pela

possibilidade da obtenção de ganhos financeiros pela venda de energia elétrica. O PROINFRA também é responsável pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL haver editado as Resoluções 482/2012 e 687/2015, que estabelecem as regras para a venda da energia a ser injetada na rede das concessionárias.

A ANEEL também publicou a Chamada N°.001/2016, com o objetivo de reduzir os entraves à implementação de projetos de Eficiência Energética (EE) e de geração própria de energia (Minigeração) em unidades consumidoras do Setor Público. Por meio da implantação de projetos pilotos em Instituições Públicas de Educação Superior, são integrados ações e recursos dos programas de pesquisa e desenvolvimento e de eficiência energética regulados pela agência (ANEEL, 2016b).

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG está implantando um projeto no Campus Goiânia incentivado pela Chamada N°.001/2016. O projeto desenvolvido na instituição revelou que a implantação da eficiência energética em iluminação e condicionamento ambiental resulta na Relação Custo-Benefício (RCB) global de 0,72 (FARIA, 2016). A geração própria de energia vem da instalação de painéis fotovoltaicos sobre os telhados dos prédios que, pela capacidade de geração o sistema fotovoltaico - FV equivale a 86% do consumo no ano de 2013 (PELÁGIO, 2014).

Instalar painéis fotovoltaicos na a área útil de telhados dos empreendimentos foi a proposta apresentada no estudo de geração de energia própria em um prédio público e em uma indústria, ambos localizados no estado de Goiás (RODRIGUES, 2015). O estudo comprova a viabilidade econômica da geração de energia solar nos telhados do prédio público e da indústria.

O potencial de geração do Campus Goiânia do IFG, do prédio público e da indústria exemplificam que a geração de energia solar fotovoltaica é possível em todas as localidades do estado de Goiás, inclusive nas quais estão nos câmpus do IFG. Atualmente, o Instituto possui câmpus nas cidades de Águas Lindas, Anápolis, Goiânia, Aparecida de Goiânia, Formosa, Cidade de Goiás, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Senador Canedo, Uruaçu e Valparaíso.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a capacidade produtiva que atenda a demanda de energia elétrica de cada um dos campus pela instalação de painéis fotovoltaicos na a área de telhado disponível, e os objetivos específicos são:

- ✓ Determinar quais são os telhados adequados para a instalação dos painéis fotovoltaicos;
- ✓ Estabelecer qual é a melhor configuração de posicionamento dos painéis solares diante dos critérios do potencial de produção de energia elétrica, economicidade e segurança;
- ✓ Avaliar quais são os câmpus, que através da autoprodução de energia elétrica tem potencial para se tornarem autossuficientes energeticamente;
- ✓ Verificar o quanto os câmpus podem contribuir com a injeção da energia excedente na rede e,
- ✓ Apontar as áreas de telhado que não recebem sombreamento, ao longo do ano, e que são consideradas ideais para receberem painéis fotovoltaicos.

1.1 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, com a seguinte descrição:

- ✓ Capítulo II: descreve o potencial de geração fotovoltaica do território brasileiro, motivando a geração distribuída que, devido a suas características e vantagens, pode trazer soluções aos problemas de distribuição de energia no Brasil;
- ✓ Capítulo III: trata dos principais conceitos, modelagens e fundamentos teóricos da geração fotovoltaica;
- ✓ Capítulo IV: descreve a metodologia dos processos e cálculos utilizados nesta pesquisa para realização dos procedimentos I, II. O procedimento I é simulação das possíveis configurações de montagem para a disposição dos painéis fotovoltaicos, e o procedimento II é a avaliação da capacidade de suprimento de energia a partir das simulações implementadas e determinação das áreas de telhados, sem sombreamento, que estão disponíveis para instalação de painéis;
- ✓ Capítulo V: apresenta os resultados obtidos nos estudos de casos contidos nos procedimentos indicados no capítulo IV. Este capítulo também traz a comparação de equivalência do potencial de geração fotovoltaica frente à demanda de energia elétrica;

- ✓ Capítulo VI: sintetiza todos os resultados obtidos pelos estudos de caso e dispõe as conclusões geradas, apresentando a conclusão dos objetivos gerais e específicos propostos neste trabalho, e;
- ✓ Capítulo VII: apresenta a conclusão e as considerações finais deste trabalho e as indicações para estudos futuros.

2 CAPÍTULO II: ENERGIA SOLAR – POTENCIAL E EXPLORAÇÃO

Este capítulo explica que a energia proveniente do Sol pode ser considerada fonte inesgotável de energia elétrica, que o movimento solar pode interferir na quantidade de irradiação solar incidente sobre o local de geração, além de falar sobre o potencial do território brasileiro para geração de energia solar, a contribuição que a energia fotovoltaica pode trazer na geração distribuída e as legislações que impulsionam a geração próxima ao ponto de consumo.

2.1 ENERGIA SOLAR

A captação da energia proveniente do Sol, com o uso da tecnologia adequada, apresenta capacidade para suprir toda a necessidade energética das nações, com a vantagem de oferecer baixo impacto ambiental na geração de eletricidade.

O Sol é uma fonte de energia essencial para a manutenção da vida no planeta Terra, e seu poder energético é considerado inesgotável, podendo ser utilizado para geração de energia elétrica e conversão térmica (fonte de calor).

A tecnologia fotovoltaica inicialmente foi desenvolvida para fins espaciais e, com o avanço do conhecimento tecnológico, passou a receber aprimoramentos que resultaram na redução dos custos e na possibilidade de aplicação no cotidiano das pessoas.

A utilização de células fotovoltaicas tem apresentado uma boa viabilidade econômica, principalmente nos usos de pequena monta, tais como: sistemas rurais isolados (manutenção e modernização da propriedade), aplicações profissionais (sistema de transmissão de dados) e eletrônica de consumo (calculadoras e relógios) (REIS, 2014a).

2.1.1 Movimentos da Terra

A instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica exige que seja verificada a irradiação solar e a quantidade de sol incidente no local de instalação. Não se podem estabelecer posições únicas para todo o globo terrestre, pois a latitude, as condições atmosféricas e as estações do ano interferem diretamente na irradiação solar a que a localidade está exposta.

Os movimentos da Terra têm influência direta sobre a geração solar fotovoltaica, isso porque são eles que determinam a quantidade de irradiação solar incidente sobre os painéis, que sofre variação durante o dia (movimento de rotação) e durante as estações do ano (movimento de translação). Em função de a Terra girar elípticamente em torno do Sol, a distância entre eles é variável ao longo do ano. Quando a Terra atinge o ponto mais distante do Sol é o periélio, enquanto que, quando está no ponto mais curto, é o afélio.

Assim, a Figura 2.1 tem a indicação do posicionamento solar nos Hemisférios Norte e Sul nos dias de equinócios (21 de março e 21 de setembro) quando os dias e noites são iguais e de solstícios (21 de junho e 21 de dezembro) quando as noites são mais longas e os dias mais curtos (VILLALVA e GAZOLLI, 2012).

Devido à curvatura terrestre, à inclinação do Sol e à trajetória elíptica da Terra, a luz solar incide sobre o planeta com intensidade variável, dependendo da latitude e da hora do local que está sendo iluminado ou recebendo a irradiação solar.

A irradiação solar é projetada sobre a Terra em diversos ângulos, mostrados pela Figura 2.2, onde: ângulo zenital (θ_z) é o ângulo formado entre os raios solares e a vertical local; ângulo azimutal (γ_s) é o ângulo formado entre a projeção do vetor solar no plano do horizonte e o sul verdadeiro, que por convenção é considerado positivo a oeste de Greenwich e negativo a leste de Greenwich; e a declinação solar (α) é o ângulo da altura ou inclinação solar formado entre o plano do Equador e uma linha que vai do centro do Sol até o centro da Terra. Seus valores podem variar entre $+23,45^\circ$ e $-23,45^\circ$ (LOPES, 2013).

A importância da latitude na determinação da quantidade de recurso solar para a geração de energia é que, quanto mais próximo do Equador esteja o local onde se pretenda instalar os painéis solares, maior será a irradiação solar incidente sobre este local.

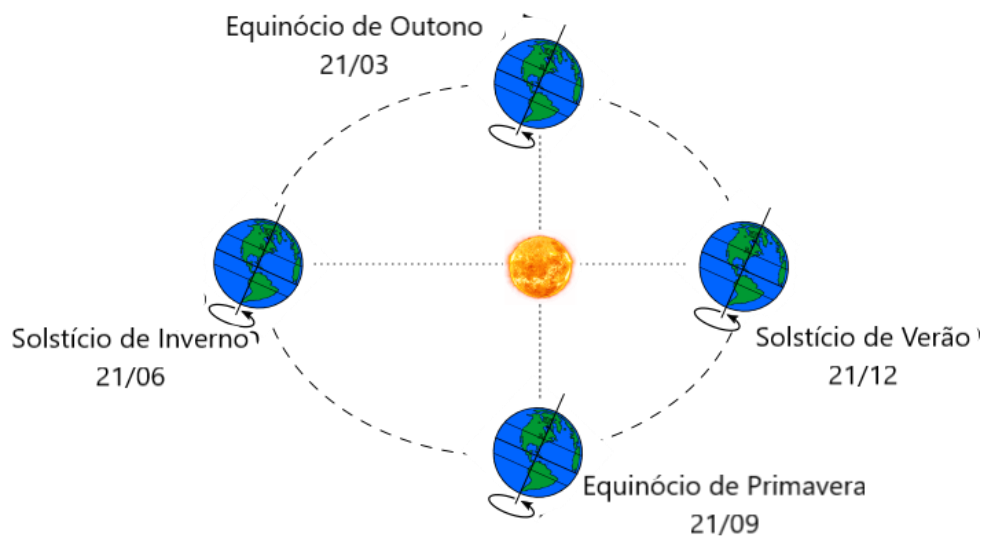


Figura 2.1 - Posicionamento solar nos dias de equinócios e solstícios (MATIAS, 2018)

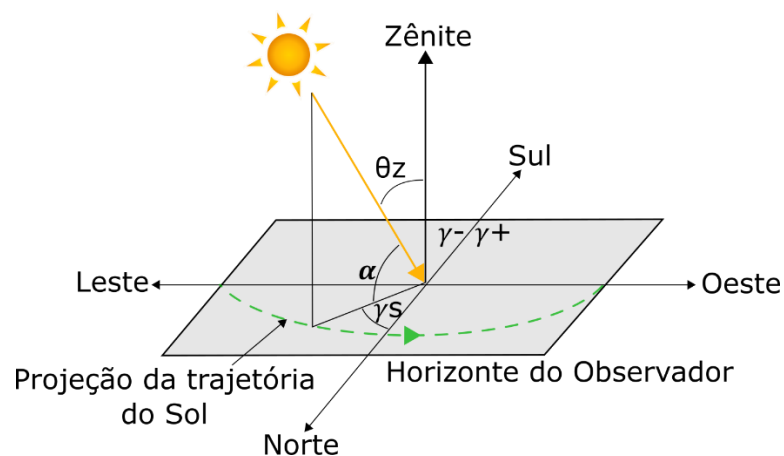


Figura 2.2 - Ângulo da irradiação solar (MATIAS, 2018)

2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

A capacidade de geração de energia fotovoltaica no território brasileiro é imensa. O sol brilha com intensidade o ano inteiro em todas as regiões do país, colocando-o em posição privilegiada quando o assunto é geração de energia limpa proveniente dessa fonte renovável.

A irradiação solar média anual no Brasil varia entre 3.500 e 6.250 kWh/m² (PEREIRA, 2017). Não se pode dizer que é a melhor média mundial, porém é constante. No território brasileiro não existe picos de inverno ou grandes períodos chuvosos. A Figura 2.3 aponta a radiação solar incidente sobre as cinco regiões brasileiras. A região Centro-Oeste, onde está localizado o estado de Goiás, tem índice anual de 5,7 kWh/m².

2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Para suprir os brasileiros com energia elétrica, o Operador Nacional do Sistema - ONS e as concessionárias de energia necessitam vencer as grandes distâncias entre geração-consumidor, sendo necessário disponibilizar altos investimentos em linhas de transmissão e distribuição. Quanto maior a distância entre o ponto de consumo e o local da geração maior será o desperdício energético e financeiro.

A Resolução Normativa ANEEL nº482/2012, de 17/04/2012, permitiu que qualquer consumidor gere sua própria energia utilizando fontes renováveis e entregue o excedente da energia gerada na rede de distribuição da concessionária que atende a região onde estiver localizado a geração.

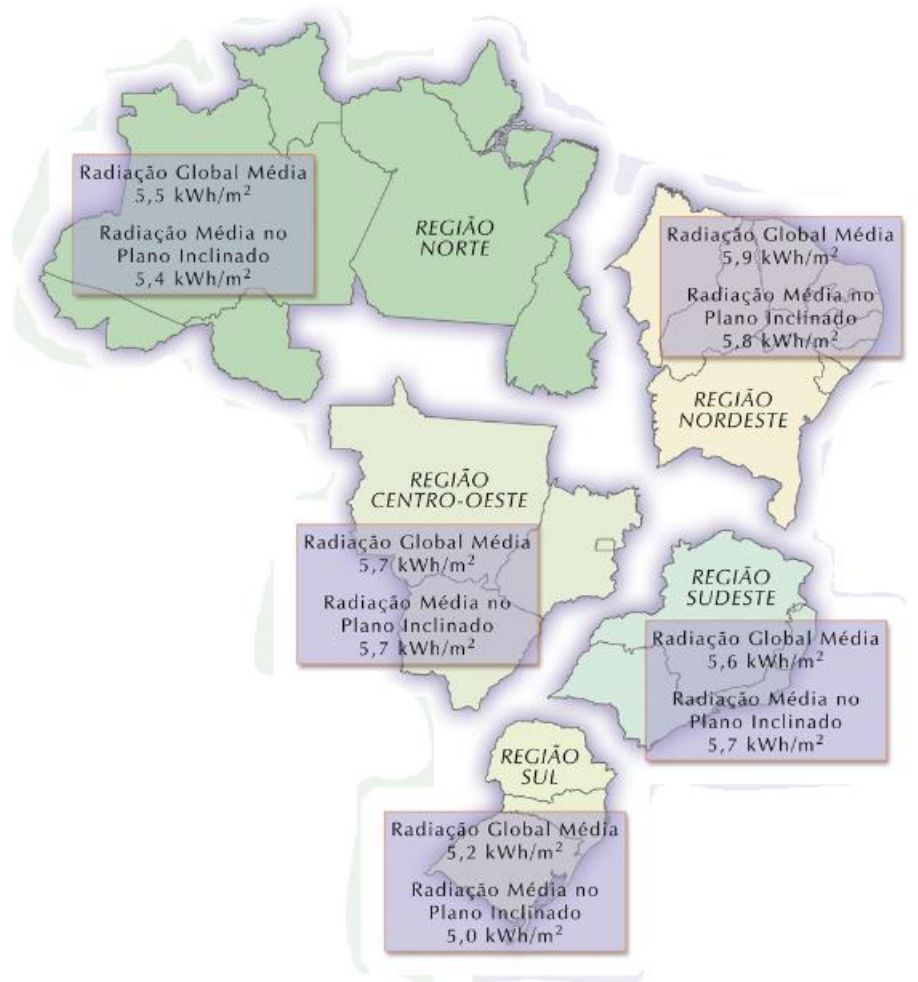


Figura 2.3 - Radiação solar em cada uma das cinco regiões brasileiras (INPE, 2006)

A Geração Distribuída – GD¹ vem se mostrando como alternativa para conter as perdas de energia no trajeto da geração ao ponto de consumo, essencialmente por ter em seu escopo as vantagens de permitir:

- ✓ Adiamento dos investimentos necessários para a expansão dos sistemas de transmissão e distribuição;
- ✓ A redução no carregamento das redes: menor fluxo de energia circulando, menor bitola de cabos;
- ✓ Diversificação da matriz elétrica: a fonte geradora é escolhida pelo proprietário da geração.

A GD é o direcionamento a ser dado para o setor elétrico brasileiro o Ministério de Minas e Energia - MME, por meio de seus órgãos vinculados, tem promovido debates e editado legislações pertinentes para estimular investimentos.

Atualmente, a GD no Brasil atingiu a marca de 403.757,94 kW de potência instalada (ANEEL,2018d), estando alocada em todas as regiões do país. A partir dos dados contidos na Tabela 2.1 é possível notar que, 99,39% das unidades consumidoras que são alimentadas energeticamente pela GD possuem usinas fotovoltaicas. Esta informação demonstra que a energia fotovoltaica é a mais acessível para o consumidor autoprodutor de energia.

2.4 LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O Governo Federal tem editado medidas que estimulam a geração própria de energia e com pela publicação das Resoluções 482/2012 (ANEEL,2012e) e 517/2012 (ANEEL,2012f) e posteriormente da Resolução 687/2015 (ANEEL,2015i), a ANEEL tem demonstrado interesse em incentivar a GD. Todas essas resoluções dispõem sobre microgeração² e minigeração³, estabelecendo os conceitos e regulamentações para o sistema de compensação de energia elétrica na rede da concessionária pelo consumidor. As Resoluções determinam que:

¹ Geração Distribuída é a geração de energia elétrica próximo ao ponto de consumo.

²Microgeração é a central geradora de energia elétrica, com potência abaixo de 75 kW.

³Minigeração é a central geradora de energia elétrica, com potência entre de 75 kW e 5 MW.

- ✓ Qualquer fonte geradora de energia renovável instalada em imóveis individuais, cooperativas, condomínios e consórcios seja classificada como micro e minigeração. O estabelecimento das classificações permite que qualquer consumidor-gerador seja enquadrado na legislação;
- ✓ A compensação não envolve valores financeiros, somente crédito de geração para utilização no prazo de 60 meses. Essa decisão inibe a interposição de recursos por parte das concessionárias em desfavor da autogeração com a alegação de que a co-geração pode interferir na viabilidade financeira das empresas;
- ✓ O consumidor pode utilizar os créditos de energia em outras unidades consumidoras, desde que estejam sob a mesma área de concessão e tenham a mesma titularidade.

Tabela 2.1 - Unidades Consumidoras com Geração Distribuída (ANEEL, 2018)

<i>TIPO</i>	<i>QUANT.</i>	<i>POTÊNCIA INSTALADA (kW)</i>
Central Geradora Hidrelétrica - CGH	51	45.719,48
Usina Termelétrica de Energia - UTE	95	30.285,08
Central Geradora Eolielétrica - EOL	56	10.311,90
Central Geradora Solar Fotovoltaica - UFV	33.110	317.441,48
Total	33.312	403.757,94

Além de direcionar o caminho legal para as concessionárias, na forma de parametrizar a recepção da unidade consumidora e também geradora de energia, há também a necessidade de legalizar os incentivos financeiros necessários para alavancar a GD. Para fechar esta lacuna foram publicadas as seguintes orientações legais:

- ✓ Lei Federal nº13.169, de 03 de outubro de 2015 (BRASIL, 2015a): por essa legislação o Governo Federal decreta isenta das cobranças referentes às contribuições de PIS/ Pasep e CONFINS a energia elétrica gerada pelas unidades consumidoras e injetadas na rede de distribuição das concessionárias de energia.
- ✓ Lei Federal nº13.203, de 08 de dezembro de 2015 (BRASIL, 2015b): a partir da data de publicação dessa lei, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico

e Social – BNDES fica autorizado a aplicar taxas diferenciadas na compra de equipamentos para a geração de energia fotovoltaica destinados a atender hospitais e escolas;

- ✓ Decreto nº7.212, de 15/06/2010 (BRASIL,2010c): esse decreto retira a incidência de Imposto sobre Produtos Industrializados- IPI sobre a produção de energia elétrica (BRASIL, 2012), não há distinção da fonte energética para a isenção do imposto;
- ✓ Resolução Normativa 481/2012 (ANEEL, 2012g): concede desconto de 80% sobre as Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão e Distribuição- TUST e TUSD para empreendimentos de geração solar durante 10 anos para os empreendimentos que entraram em operação até 31/12/2017. Depois desta data o desconto passa a ser de 50%;
- ✓ Convênio ICMS 101/97, de 18/12/1997 (CNPf, 1997a): acordo assinado na 88ª Reunião Ordinária do Conselho Nacional de Política Fazendária, e prorrogado até 31/12/2028, no qual as Secretarias da Fazenda dos Estados e do Distrito Federal se comprometem a não cobrar Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços – ICMS sobre os equipamentos destinados a geração de energia fotovoltaica e eólica;
- ✓ Convênio ICMS nº 16, de 22/04/2015 (CNPf,2015b): este convênio celebrado entre o Conselho Nacional e os Estados do Acre, Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, São Paulo, Sergipe, Tocantins e o Distrito Federal, autorizados a conceder isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica fornecida a distribuidora pela unidade consumidora/geradora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica injetada na rede de distribuição.

2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

A energia proveniente do Sol tem potencial para atender às necessidades da população mundial, a conversão de irradiação solar em energia elétrica, que inicialmente era destinada para fins espaciais, atualmente tem sido aplicada na vida cotidiana da população e o

conhecimento tecnológico tem subsidiado diversas formas de transformação, que são adaptáveis em todas as regiões do planeta.

Os movimentos de translação e rotação da terra alteram a posição e a inclinação solar e provocam variações na quantidade de horas de sol pleno – HSP da localidade, influenciando na quantidade de energia solar produzida.

O Brasil recebe bons índices de irradiação solar e por isso a geração de energia solar em todo o território nacional tem condições ideais para geração distribuída, que possui entre outras a vantagem de eliminar as perdas elétricas que ocorrem na transmissão de energia. O governo federal tem priorizado a energia fotovoltaica com medidas e legislações que promovem o direcionamento de investimentos em P&D, voltados ao estímulo e à disseminação da geração distribuída.

3 CAPÍTULO IV– PRINCIPAIS CONCEITOS, MODELAGENS E TECNOLOGIAS APLICADAS À GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais dos principais fatores que podem influenciar na geração fotovoltaica, que são: o sombreamento, a irradiação, a localização geográfica e a inclinação dos painéis, e aponta as principais variáveis que modelam os conversores de energia solar fotovoltaicos, isto é, os painéis fotovoltaicos.

3.1 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

O painel fotovoltaico é o equipamento responsável por receber a irradiação solar e a converter em energia elétrica. A capacidade de conversão do painel fotovoltaico, em associação com os parâmetros geográficos e de clima, determina o potencial produtivo de energia elétrica que o sistema de geração pode oferecer.

3.1.1 Eficiência do painel fotovoltaico

Painéis fotovoltaicos são projetados na condição de atendimento do Controle de Teste Padrão (*Standart Test Control–STC*) para gerar energia elétrica a partir de irradiação de 1.000 W/m², espectro de massa de ar 1.5 e temperatura de célula de 25°C. Porém, no campo o equipamento estará exposto a situações adversas e a condição STC passa a ser apenas referência. Adotar critérios únicos para todos os painéis permite a comparação, entre vários fabricantes, em igualdade de condições (VILLALVA e GRAZOLI, 2013).

O painel *in loco* tem rendimento diferente do que é demonstrado em STC. Assim, os fabricantes disponibilizam nos catálogos os resultados obtidos da célula em temperatura normal de operação (*Normal Operation Cell Temperature- NOTC*). Esta diferença entre o que a célula apresenta no laboratório e o que rende em campo é devido principalmente a temperatura do ambiente onde o painel será instalado e ainda devido a problemas de pouca manutenção- acúmulo de poeira, por exemplo.

Para estabelecer o parâmetro para cálculo do rendimento do sistema é utilizada a expressão (3.1), (SALAMONI, 2004), onde: E_{fNOTC} , é a eficiência do painel na temperatura de operação; E_{fSTC} , é a eficiência do painel na condição STC; KP_{max} , representa o coeficiente de

temperatura sobre a potência do painel e, ΔT , é a diferença entre a temperatura de operação NOCT e temperatura STC.

$$Ef_{NOTC} = Ef_{STC} \cdot \left[\frac{100 - (|KP_{max}| \cdot \Delta T)}{100} \right] \quad (3.1)$$

A temperatura de operação do painel fotovoltaico pode receber influência da temperatura do ambiente, da irradiação solar, da velocidade do vento e também da forma de montagem.

3.2 SOMBREAMENTO

Os painéis necessitam receber irradiação solar suficiente para que a sua produção não seja comprometida e o painel não se torne improdutivo, por isso o sombreamento é um fator importante a ser considerado em um estudo de geração de energia fotovoltaica.

A movimentação solar projetará sombras das nuvens, das árvores ou estruturas instaladas próximas aos locais onde se pretende fixar os painéis fotovoltaicos. As nuvens estão em constante movimentação e geralmente a presença delas ocorre em determinada época do ano, que coincide com o período chuvoso. O prejuízo que as sombras podem causar à geração de energia é eliminado no cálculo do potencial de geração que considera a média anual dos valores de irradiação.

A região Centro-Oeste dispõe de uma característica diferenciada. Devido a distância solar ser maior no mês de junho, justificada pelo Solstício de Inverno, a intensidade da irradiação emitida pelo sol à Terra deve ser menor neste mês. Contudo, os menores índices de irradiação solar ocorrem nos meses de janeiro e março, devido à sazonalidade das condições meteorológicas, ou seja, vinculados ao regime das chuvas que vai de outubro a abril, sendo essas mais intensas nos meses de dezembro a fevereiro. Portanto, mais nebulosidade impedindo a chegada dos raios solares à superfície terrestre. Nos meses de maio a setembro predomina o céu limpo e a quantidade de nuvens é praticamente nula, o que permite a incidência direta dos raios solares.

Sistemas de geração fotovoltaica exigem manutenção. O *check-list* de procedimentos deve contemplar os componentes do sistema e também a possibilidade de ocorrência de influências externas que podem comprometer a produção. Dentre as ocorrências externas está

a vegetação próxima, que deve ter sua influência avaliada. A solução pode ser a poda de árvores vizinhas para evitar a incidência de sombra sobre os painéis.

O sombreamento da estrutura pode se dar também por edificações alheias ao sistema de geração ou até mesmo por elementos da própria edificação. Um exemplo é o sistema de geração fotovoltaica instalado em telhados onde um reservatório de água existente sobre a cobertura pode cobrir vários painéis e prejudicar a geração.

Assim, qualquer que seja o motivo, o estudo de sombreamento tem a função de prever e reverter as condições que podem bloquear a incidência direta da irradiação solar sobre os painéis fotovoltaicos, de maneira que não prejudiquem a capacidade de geração de energia elétrica do sistema.

3.2.1 Cálculo da inclinação entre os painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos podem ser montados nos telhados acompanhando a inclinação da cobertura, de forma plana ou inclinada, para melhor aproveitamento do recurso solar. A distância entre os painéis deve ser calculada para que um painel não receba a sombra do outro, pois isso provoca perda na geração de energia.

No hemisfério Sul, os painéis fotovoltaicos instalados com a face voltada para o norte possibilitam melhor aproveitamento do recurso solar. Portanto, ao se conceber o projeto de uma edificação capaz de gerar energia fotovoltaica, deve-se posicioná-la de maneira a receber a incidência de irradiação solar de forma mais eficiente, ou seja, voltada para o norte.

Considerando que o sombreamento entre os painéis pode provocar perda na geração de energia, com prejuízos ao sistema, no cálculo para definir a distância entre as fileiras de painéis devem ser levados em consideração a altura do painel (h) e ângulo da altura solar (β), conforme demonstra a Figura 3.1.

O ângulo da altura solar β é variável em função do local (posição geográfica) e do dia do ano, já que é o Sol que promove os solstícios e os equinócios. Então, para que o sistema possa ser dimensionado para atender ao maior tamanho de sombreamento, os cálculos devem considerar a data de 21/06 e o valor $+23,45^\circ$ para o ângulo da altura solar.

O cálculo da distância d entre fileiras, mostrado na Figura 3.1, é obtido pela expressão (3.2), onde: L é o comprimento/largura do painel fotovoltaico; α é o ângulo de inclinação do painel em relação à base e, β é o ângulo da altura solar.

$$d = L \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} \right) \quad (3.2)$$

A definição de um posicionamento ótimo para os painéis fixos é uma tarefa árdua e complicada, pois o Sol está sempre se movimentando ao longo do ano. Portanto, certamente alguma perda em relação à irradiação solar vai ocorrer. A recomendação para minimizar a perda é posicionar os painéis voltados para o norte quando instalados no hemisfério sul ou para o sul quando instalados no hemisfério norte.

3.3 CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO

Painéis fotovoltaicos são planejados e instalados para receber a luz solar, e quanto mais absorverem a irradiação solar melhor será a condição de atingir a máxima capacidade de produção do painel.

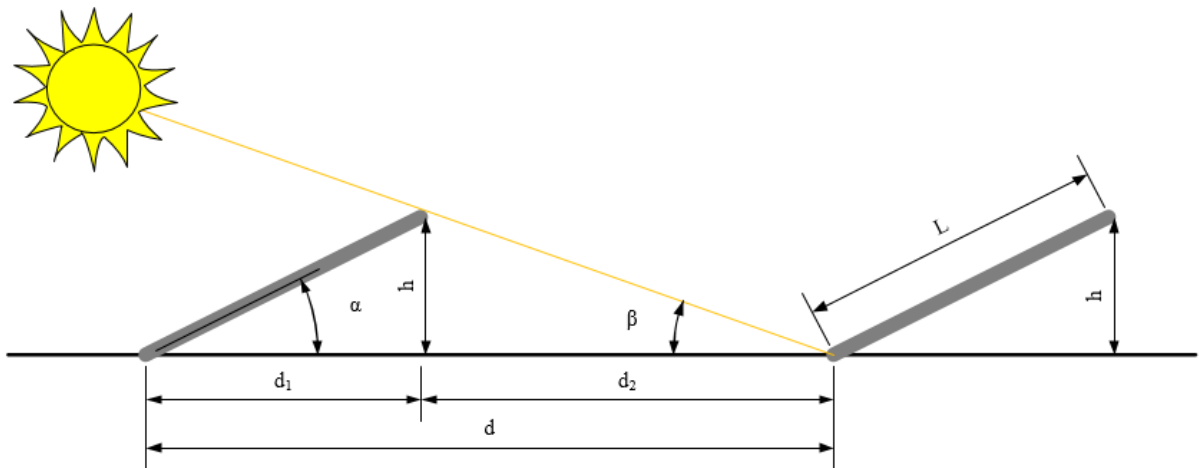


Figura 3.1 - Distância entre fileiras de painéis para evitar sombra entre painéis

Pela utilização dos dados de irradiação solar anual do local onde se pretende instalar os painéis, juntamente com a eficiência do painel na condição de operação Ef_{NOCT} , calculada pela expressão (3.1), e com a área dos painéis é estimada a produção do painel, por meio da expressão 3.3, onde: P_d é o potencial de geração diário; I_d é a irradiação diária; A_p é a área do painel; e Ef_{NOCT} é a eficiência do painel na temperatura de operação (VILLALVA e GRAZOLI, 2013).

$$P_d = I_D \cdot A_p \cdot Ef_{NOCT} \quad (3.3)$$

3.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

O capítulo 3 mostrou que a geração de energia solar tem relação direta com a quantidade de irradiação solar disponível no local onde se deseja instalar o sistema fotovoltaico e com o sombreamento sobre os painéis. Mostrou também as expressões necessárias para a realização dos cálculos que visam a estimativa do potencial de geração de energia elétrica de uma localidade.

A capacidade de geração dos painéis fotovoltaicos é determinada no processo de fabricação, e todos os fabricantes devem submeter seus produtos a teste de controle padrão estabelecidos por normas internacionais. Contudo, o rendimento dos painéis fotovoltaicos pode vir a ser prejudicado se no momento da instalação não forem observados os elementos que podem provocar o sombreamento, dentre os quais a distância mínima necessária entre os painéis para impedir que haja a projeção da sombra de um painel sobre o outro.

4 CAPÍTULO V – METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos para realização do estudo de avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir da instalação de painéis fotovoltaicos sobre os telhados dos câmpus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG).

Para obtenção do potencial de geração de energia elétrica são definidos os dois (02) procedimentos descritos a seguir:

4.1 PROCEDIMENTO I – SIMULAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES DE MONTAGEM DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

No procedimento I são realizadas quatro simulações de possíveis montagens de painéis fotovoltaicos sobre os telhados dos prédios que compõem o Campus Águas Lindas. Esse campus foi escolhido aleatoriamente para servir de laboratório para que pelos resultados obtidos seja(m) definida(s) qual(is) a(s) configuração(ões) de montagem será(ão) aplicada(s) aos demais campus. As simulações buscam determinar a melhor configuração de montagem dos painéis fotovoltaicos considerando: a posição no sentido transversal e longitudinal em relação à borda do telhado; o ângulo de inclinação da montagem e a previsão de espaço entre fileiras para os “corredores de manutenção”.

O fluxograma apresentado na Figura 4.1 descreve as etapas desenvolvidas para a efetivação das simulações contempladas no procedimento I, as quais determinarão a melhor configuração de montagem de painéis atendendo aos critérios de aproveitamento da área de telhado útil, manutenção, economicidade e resistência à ação dos ventos.

Os itens a seguir descrevem as etapas do fluxograma representado na Figura 4.1.

4.1.1 Obtenção dos projetos arquitetônicos

Para o desenvolvimento dos trabalhos é necessário conhecer a localização, dimensão, disposição dos prédios e o detalhamento dos telhados das edificações que compõem os

câmpus. Essas informações foram fornecidos pela Pró-Reitoria de Administração, no formato *Autocad*⁴.

Os projetos de arquitetura também são utilizados na construção das maquetes eletrônica no software *SketchUp*⁵, na versão *Make*, disponibilizado pelos desenvolvedores do programa de forma gratuita. A ferramenta *SketchUp* além de auxiliar na construção da maquete eletrônica também posiciona o empreendimento em sua coordenada geográfica, de forma georreferenciada. Os dados do georreferenciamento⁶ são fornecidos pelo software *Google Maps*.

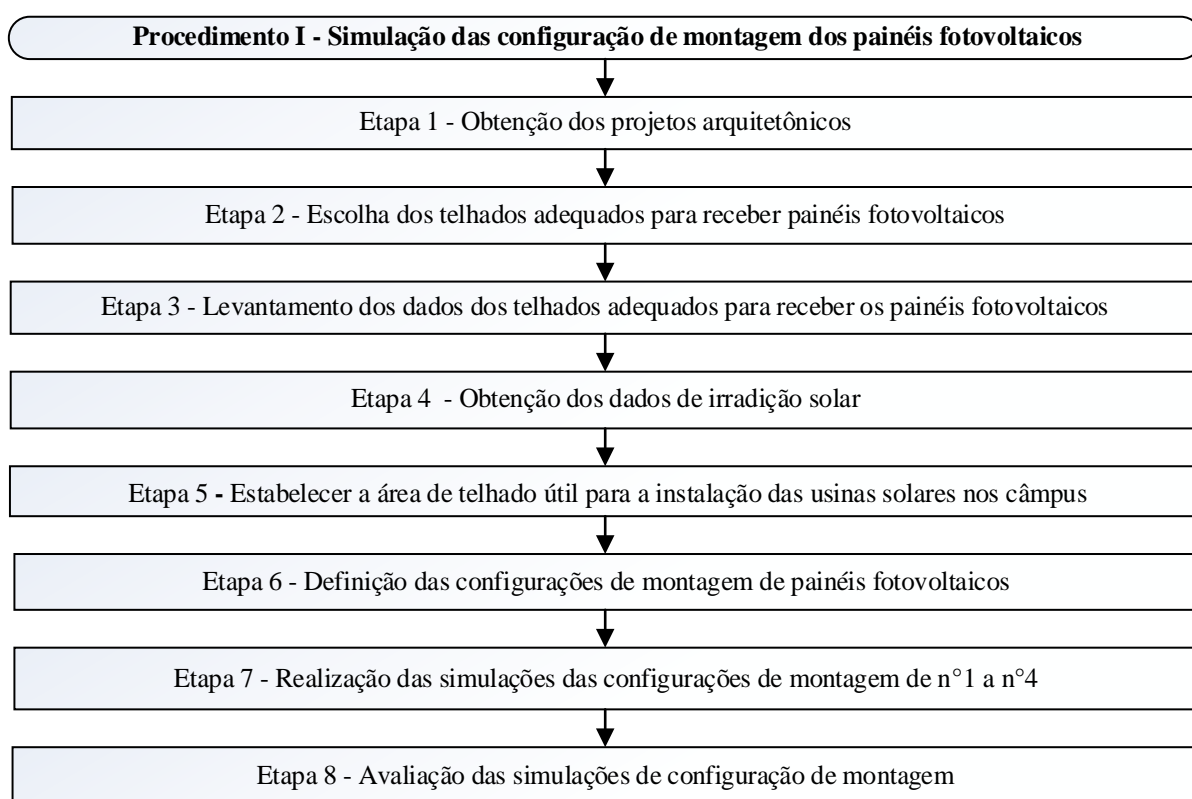


Figura 4.1 - Fluxograma do Procedimento I _ Simulação das configurações de montagem de painéis fotovoltaicos

⁴ Autocad é um programa computacional que serve para auxiliar no desenvolvimento de desenhos técnicos, com ferramentas específicas para todas as áreas da engenharia, sendo ideal para a mensuração de objetos, em escala de desenho, e sua utilização é importante para verificar a quantidade painéis fotovoltaicos que podem ser distribuídos sobre os telhados.

⁵ SketchUp é um programa computacional de modelos em 3D que possibilita a visualização de elementos arquitetônicos em uma localização georreferenciada sobre o globo terrestre.

⁶ Georreferenciamento - é o mapeamento de um imóvel referenciado por sua latitude e longitude. A posição geográfica é definida pelo Sistema Geodésico Brasileiro.

As maquetes eletrônicas georreferenciadas colaboram com o projeto por auxiliarem no estudo do sombreamento sobre a edificação, indicando a posição solar no dia e na hora especificados pelo usuário do programa. A Figura 4.2 apresenta o ambiente de trabalho do software *SketchUp*.

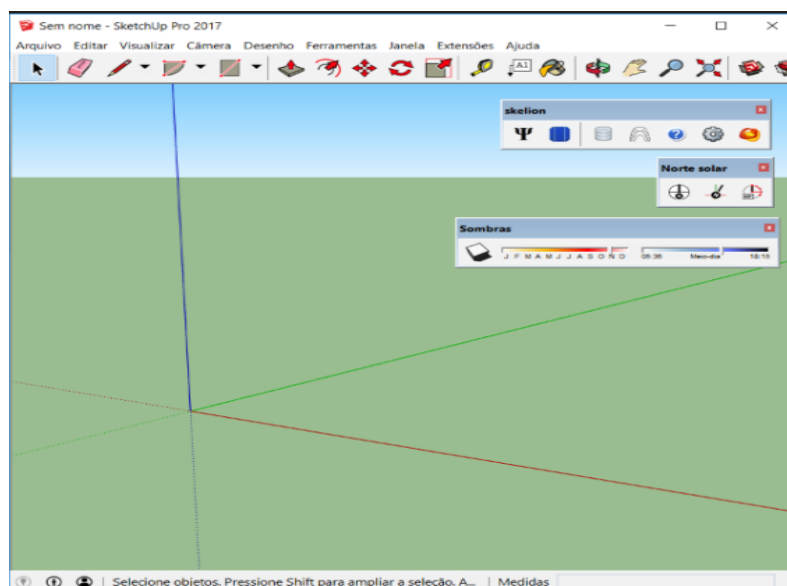


Figura 4.2 - Ambiente de trabalho do software SketchUp

4.1.2 Escolha dos telhados adequados para receber os painéis fotovoltaicos

A escolha dos telhados para receber os painéis fotovoltaicos é realizada para evitar que sejam consideradas coberturas que não possuam formato adequado para a instalação dos painéis ou área suficiente para comportar uma quantidade de painéis que justifique o custo da instalação. Este estudo não avaliou a resistência mecânica das estruturas dos telhados para determinar a quantidade ou o peso total de painéis que as coberturas podem suportar. Recomenda-se que essa avaliação seja realizada por profissionais qualificados com a realização de ensaios técnicos nos elementos que compõem a cobertura antes da montagem do sistema fotovoltaico sobre os telhados selecionados no estudo.

Não foram inseridos nas simulações de montagens os prédios que possuem telhados em formato curvo, as passarelas, os auditórios - cuja cobertura é em formato de abóbadas ⁷ ou uma composição de vários telhados, e os prédios que trazem a indicação no projeto arquitetônico como ampliação futura. As coberturas curvas, nos projetos dos câmpus,

⁷ Abóbada - cobertura côncava

geralmente estão presentes nos ginásios de esportes, com telhados em formato de arco, e no auditório com telhados em formato de abóbadas sobrepostas.

A instalação de painéis em telhados curvos ou arqueados tendem a onerar o projeto, pois exige adequações e/ou instalação de estrutura para correção das inclinações. Ainda, no caso dos ginásios, as telhas autoportantes que cobrem os prédios não são fabricadas para receber peso além da carga dimensionada no projeto.

As passarelas possuem a largura de 3,00 m, divididos em dois telhados unidos por uma das laterais. Cada um dos telhados possui largura útil de 1,32 m. A instalação de painéis fotovoltaicos em telhados com largura insuficiente induz a montagem em balanço, ou seja, um dos lados do painel fica sem estrutura para apoiar, expondo os usuários das passarelas a uma condição de risco de acidentes. Para neutralizar o risco, é necessário reforçar a estrutura e alargar a passarela. A quantidade de energia elétrica gerada nos painéis instalados sobre as passarelas não justifica o custo financeiro, considerando que outros telhados do campus podem ser utilizados para a produção de energia elétrica.

Os telhados com diferenças de níveis de elevação dificultam a instalação dos painéis e tendem a provocar sombreamento. Deste modo, telhados com estas características também são desconsiderados das pesquisas.

4.1.3 Levantamento de dados

A partir dos dados de georreferenciamento e das informações contidas nos projetos de arquitetura dos edifícios que compõem o campus, os telhados são nomeados e para cada telhado são retirados os dados necessários para a realização da pesquisa, a saber: dimensões dos prédios; a área disponível para instalação de painéis sobre os telhados; a inclinação da cobertura; a orientação geográfica; a latitude; e a longitude do local.

4.1.4 Estabelecer a área de telhado útil para a instalação das usinas solares nos câmpus

Nesta etapa é determinada a área dos telhados ou os locais da cobertura onde os painéis fotovoltaicos podem ser instalados sem que a produção de energia elétrica seja prejudicada por sombras ao longo do ano sendo, portanto, considerados adequados para receber os painéis fotovoltaicos. A delimitação da área de sombreamento é fundamental para os projetistas responsáveis pela elaboração dos projetos das usinas solares.

4.1.4.1 Estudos de sombreamentos

Com o uso do software *SketchUp*, todos os câmpus são estudados com relação ao sombreamento máximo, que acontece nos dias de solstícios, 21/06 e 21/12, nos horários de 9h, 12h e 15h.

Os resultados dos estudos de sombreamento apontam para as áreas de telhado que recebem sombreamento ao longo do ano e que podem ser consideradas inapropriadas para a instalação de painéis fotovoltaicos. As representações gráficas dos estudos de sombreamento trazem na cor vermelha as áreas de sombra e em branco as áreas úteis de telhado consideradas pela pesquisa adequadas para a geração fotovoltaica. As simulações de montagem de painéis nesse trabalho são realizadas somente nas áreas úteis de telhado.

4.1.5 Especificação técnica do painel fotovoltaico Canadian Solar, modelo CS6K-270

O desenvolvimento deste trabalho necessita da escolha de um modelo de painel, cujas características possibilitem o atendimento das demandas dos câmpus. Os painéis escolhidos são fabricados pela empresa Canadian Solar, modelo CS6K-270, disponíveis no mercado brasileiro. As especificações técnicas apresentadas na Tabela 4.1 estão contidas no catálogo do fabricante.

4.1.6 Obtenção dos dados de irradiação solar média anual incidente sobre o campus

Para se atingir um bom nível de precisão de resultados, a pesquisa também utilizou os dados de irradiação solar fornecidos pelo software *Radiasol 2*, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOL, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A utilização do programa *Radiasol 2* dispensa a realização dos cálculos necessários para conhecer a intensidade da irradiação solar. Por meio de modelos matemáticos, o programa executa rotinas que, a partir da inserção do nome da cidade, azimute e ângulo de inclinação do painel, o software entrega como resposta a radiação solar direta e difusa sobre a localidade especificada. A Figura 4.3 apresenta a interface do programa *Radiasol 2* e os locais para inserção das informações necessárias para o processamento dos dados.

Tabela 4.1 - Especificações técnicas do painel fotovoltaico Canadian Solar, mod. CS6K-270

<i>CARACTERÍSTICA</i>	<i>CLASSIFICAÇÃO</i>
Tecnologia	Poli-cristalino
Arranjo das células	6x10
Dimensões	1650x992x40mm
Peso	18,2 kg
Máx. Potência Nominal (Pmax)	270 W
Tensão de máx. potência (Vmp)	30.8 V
Corrente de máx. potência (Imp)	8.75 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	37.9 V
Corrente de circuito aberto (Isc)	9.32 A
Eficiência do módulo (STC)	16.80%
Coefficiente de temperatura (Pmáx)	-0,41

Caso o software Radiasol 2 não possua em sua base de dados com informações da cidade onde está localizado o campus em estudo, serão utilizados os dados da localidade mais próxima.

4.1.7 Realização das simulações de configuração de montagens de painéis

O Campus Águas Lindas é escolhido de forma aleatória para, a partir das informações de projetos e do Google Maps, receber as quatro simulações de montagem de painéis que definirão a configuração a ser utilizada nos demais campus. As simulações envolvem a montagem dos painéis nas posições transversal (0,992x1,650m) e longitudinal (1,650x0,992m) em relação à borda do telhado e também com os geradores fotovoltaicos instalados de forma plana e inclinada em relação ao plano dos telhados.

A Figura 4.4 traz a representação gráfica dos painéis montados sobre os telhados no sentido transversal e longitudinal, para o encaixe dos conectores e a organização dos cabos, em todas as simulações a distância entre painéis adjacentes é de 2cm.

Instalar os painéis fotovoltaicos com a face de captação voltada para o Norte permite que recebam maior irradiância solar. Contudo, Rodrigues (2015) comprovou que a correção da orientação geográfica, em baixas latitudes, não confere ganhos significativos na geração de energia elétrica, além de requerer estruturas específicas de fixação que elevam os custos financeiros e o peso da instalação.

Desvio Azimutal

Inclinação do Módulo

Albedo Local

Origem do Dados

Mapas (SWERA)

Interpolação do Banco de Dados

Opções: Mapa do Brasil Sugerir Inclinação Entrada manual de Dados

Temperatura Média

Temperatura Mínima

Temperatura Máxima

Radiação

Radiação Inclinada

Umidade Relativa

Confirmar

Cancelar

Ajuda

Figura 4.3 - Interface do programa Radiasol 2

4.1.7.1 Configurações n° 01 e n° 02:

Nas configurações n° 01 e n° 02 o painel fotovoltaico é montado sobre o telhado de forma plana nos sentidos transversal e longitudinal, dispensando estrutura que favoreça a existência e o ângulo de inclinação entre a cobertura e o painel. A Figura 4.5 traz a representação gráfica dos painéis sobre os telhados. É importante ressaltar que a instalação dos painéis no plano do telhado não permite que a sombra de um painel incida sobre o outro.

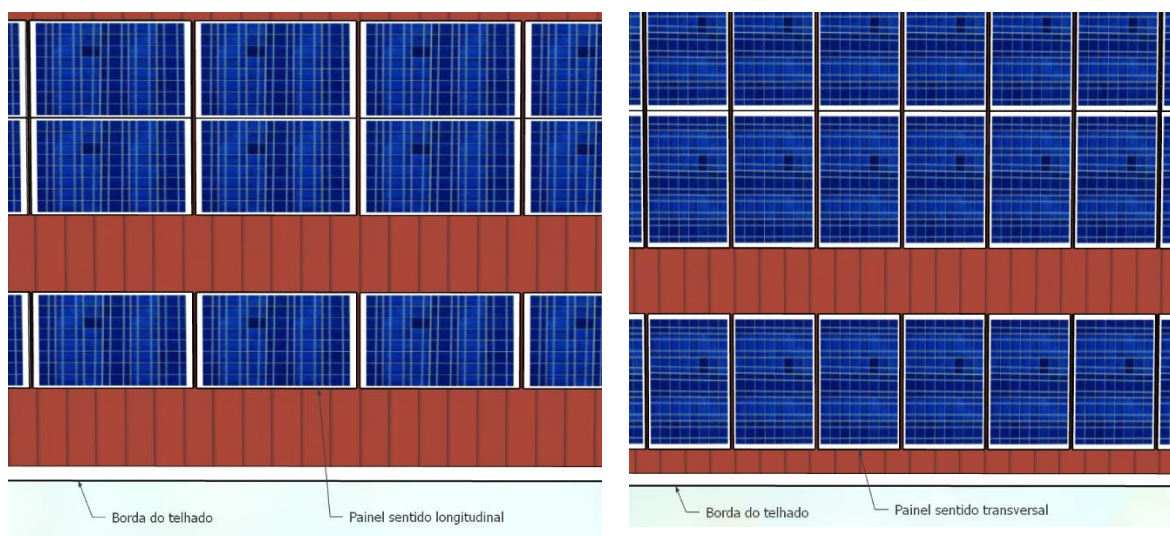


Figura 4.4 - Painéis montados sobre os telhados no sentido transversal e longitudinal

Para que a manutenção seja realizada, são previstos os corredores de manutenção de 80cm a cada duas fileiras de painéis.

A configuração n° 02 tem as mesmas características da configuração n° 01, porém na configuração n° 1 os painéis estão posicionados no sentido transversal e na configuração n° 2 os painéis estão posicionados no sentido longitudinal, conforme a representação gráfica da Figura 4.4.

4.1.7.2 Configurações n° 03 e n° 04:

Nas configurações n° 03 e n° 04 os painéis são montados com a inclinação igual ao valor da latitude do local. Caso a montagem não considere um espaçamento mínimo entre as fileiras, pode ocorrer sombreamento mútuo. A distância necessária para evitar as sombras de um painel sobre o outro, nessas configurações, é obtida pela expressão (3.2). A Figura 4.6 mostra a representação gráfica da instalação dos painéis inclinados sobre os telhados.

Na Configuração n° 03 os painéis são montados no sentido transversal e na configuração n° 04 a montagem dos painéis é feita no sentido longitudinal, conforme demonstrado na Figura 4.4

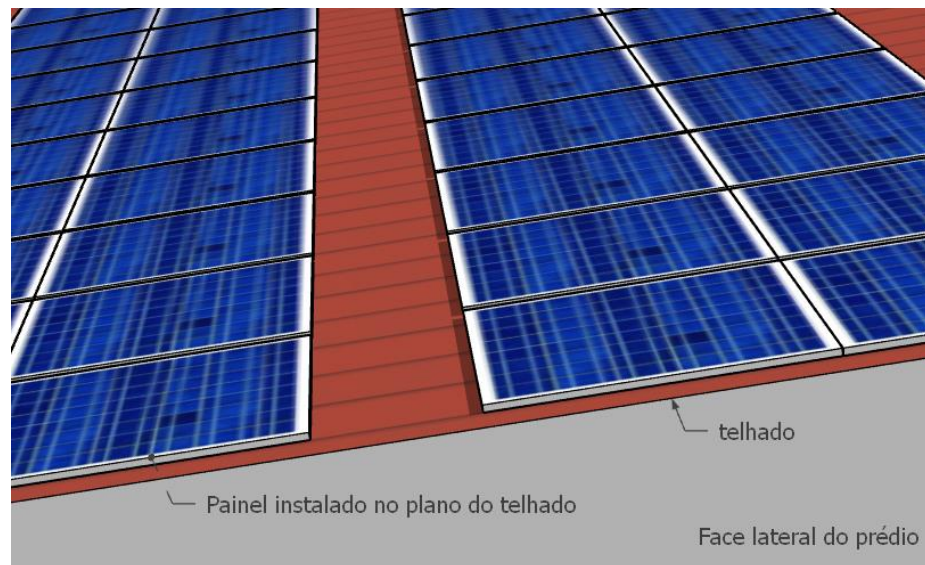


Figura 4.5 - Representação gráfica dos painéis instalados no plano dos telhados - configuração n° 01 e n° 02

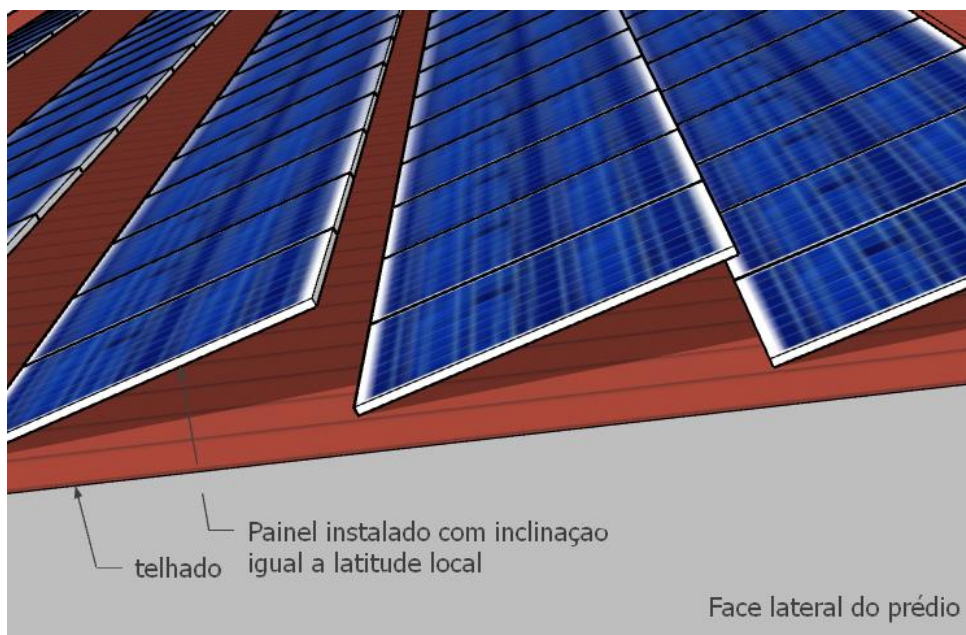


Figura 4.6 - Representação gráfica dos painéis instalados sobre os telhados - configuração n° 03 e n° 04.

4.1.8 Critérios de avaliação das simulações de configurações de montagem

As quatro simulações de montagem dos painéis foram feitas para todos os telhados do campus Águas Lindas. Os resultados são avaliados pelos seguintes critérios:

- ✓ Manutenção: oferecer condições adequadas para a realização da manutenção dos painéis;
- ✓ Área disponível: possibilitar a avaliação da instalação da maior quantidade de painéis possível;

- ✓ **Economicidade:** minimizar a quantidade de estrutura de fixação exigida na instalação dos painéis e,
- ✓ **Segurança:** a ação dos ventos sob os painéis pode arrancá-los, causar prejuízos materiais e expor as pessoas a riscos de acidente.

4.2 PROCEDIMENTO II – AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPRIMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO DOS CÂMPUS PELA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A capacidade de suprimento das necessidades energéticas da instituição com energia fotovoltaica gerada nos telhados é mensurada pelas ações executadas no Procedimento II, que estão descritas no fluxograma mostrado na Figura 4.7.

4.2.1 Cálculo do potencial de geração fotovoltaica por telhado

O cálculo do potencial de geração fotovoltaica por telhado, identificado como sendo a Etapa 7 na Figura 4.7, é determinado pela utilização dos dados de irradiação solar média anual incidente sobre cada um dos telhados adequados para a realização da pesquisa, pelas especificações técnicas do painel solar fotovoltaico, descritas no item 4.2.4, juntamente com a eficiência do painel na condição de operação. O cálculo do potencial de geração diário por painel é resultado da expressão 3.3.

Para obter a capacidade de geração dos telhados selecionados para receber os painéis fotovoltaicos nos câmpus no período mensal e anual, basta multiplicar a quantidade de painéis fotovoltaicos alocados por telhado por 30 e 365, respectivamente.

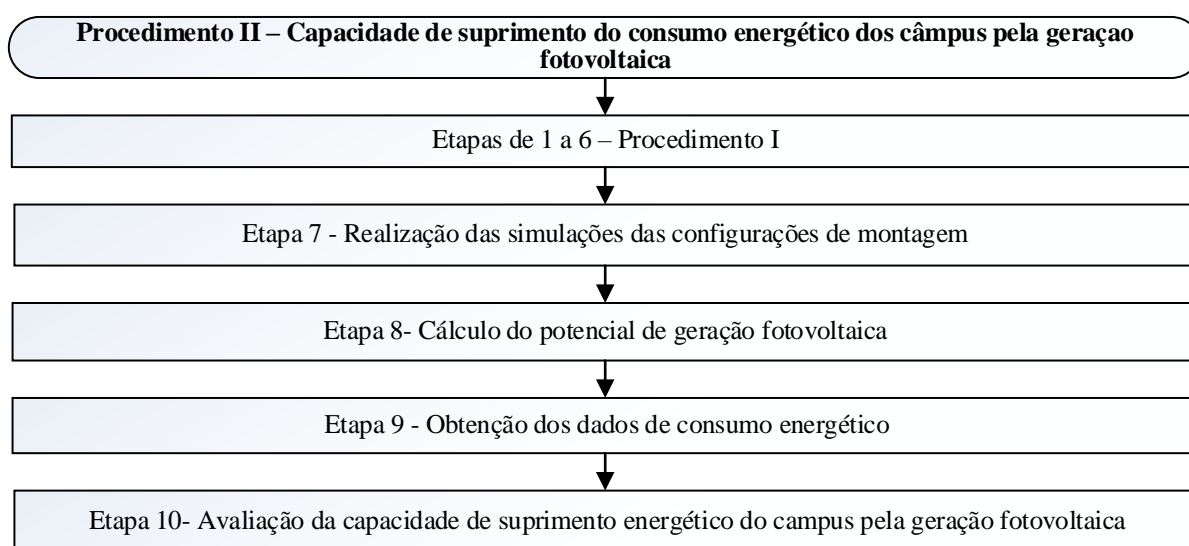


Figura 4.7 - Fluxograma do Procedimento II _ Capacidade de suprimento do consumo energético dos câmpus pela geração fotovoltaica

4.2.2 Levantamento de dados de consumo energético dos câmpus

Atualmente, toda demanda de energia elétrica dos câmpus é suprida pela concessionária de energia, que possui os registros da quantidade de energia que estes requisitam para manter suas atividades.

O levantamento dos dados da média mensal de energia consumida pela Instituição é obtido junto à concessionária de energia elétrica e o período a ser avaliado na pesquisa não poderá ser superior a três anos e nem inferior a seis meses. Este período foi determinado pelo número de meses em que foi realizada leitura de consumo pela concessionária. A quantidade de leitura de consumo é variável entre os câmpus pois alguns estão em atividade há mais tempo que outros.

4.2.3 Determinação da capacidade de suprimento

O cálculo do potencial de geração fotovoltaica comparado com os dados de consumo energético do campus permite determinar quais e quantos telhados são necessários para atender as necessidades de energia da instituição de ensino para que o excedente de energia gerada e injetada na rede da concessionária durante o período em que ocorre geração possa ser compensada no período em que não há geração de energia.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do procedimento I, realizado no Câmpus Águas Lindas, e do procedimento II, efetivado nos câmpus Águas Lindas, Anápolis, Aparecida de Goiânia, Formosa, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Uruaçu e Valparaíso, com o objetivo de avaliar a capacidade produtiva de energia fotovoltaica que atenda ao consumo de energia elétrica de cada um dos câmpus pela instalação de painéis fotovoltaicos utilizando a área de telhado disponível.

5.1 PROCEDIMENTO I: DEFINIÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE MONTAGEM

5.1.1 Caracterização do Câmpus Águas Lindas

O Câmpus Águas Lindas, situado na cidade de mesmo nome, está localizado na latitude $15^{\circ}45'19,11''$ ao sul do Equador e longitude $48^{\circ}15'48,13''$ a oeste de Greenwich. A Figura 5.1 apresenta uma vista superior do Câmpus Águas Lindas, em posição georreferenciada com indicação do norte geográfico identificando os prédios e os telhados. Compõem os empreendimentos: bloco destinado ao serviço/administração; dois blocos de sala de aulas; ginásio de esporte; e auditório (ampliação futura).



Figura 5.1 - Disposição dos prédios do Câmpus Águas Lindas

Os projetos arquitetônicos detalham que são curvos os telhados do ginásio de esportes e do auditório, e conforme havia sido definido, esses telhados não serão contemplados nas análises desenvolvidas. Os demais prédios possuem telhados no formato de duas águas e são adequados para receberem os painéis fotovoltaicos. Todo o empreendimento conta com 4.069 m² de área de cobertura, em telhados planos.

A Tabela 5.1 apresenta os principais dados dos telhados dos prédios que compõem o campus Águas Lindas.

5.1.2 Estudo de sombreamento

No estudo de sombreamento são identificadas as áreas de telhado que não recebem sombras, que podem ser provocadas por componentes da cobertura, pelos desníveis de telhado ou por elementos externos.

O uso do software “*SketchUp*” possibilita realizar simulações de sombreamento solar nas datas de 21/06 e 21/12, nos horários de 9h, 12h e 15h. As imagens resultantes das simulações Câmpus Águas Lindas estão nos Anexo A, Anexo B e Anexo C.

A maior parte dos telhados do prédio é voltada para o norte, nordeste e noroeste. Essas são direções que, pela orientação geográfica, no hemisfério sul recebem boa incidência de irradiação solar durante todo o ano. A Figura 5.2 apresenta, na cor branca, a indicação das áreas úteis de telhado e que são adequadas para receber a instalação de painéis fotovoltaicos sobre a cobertura dos blocos serviço, administração e salas de aula 1 e 2.

As áreas que recebem sombras foram desconsideradas nas simulações de montagem de painéis fotovoltaicos e representam uma redução de 10,94% da área total de telhado para instalação de painéis fotovoltaicos. Assim, os estudos de sombreamento resultam em uma área útil de 3623,83m².

Tabela 5.1 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Águas Lindas

Telhado / Utilização	Administrativo		Serviço		Salas de Aula 1		Salas de Aula 2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
ângulo de inclinação do telhado (°)	4,59	4,59	4,59	4,59	5,74	4,59	5,74	4,59
orientação geográfica	norte	sul	norte	sul	oeste	leste	oeste	leste
ângulo azimutal (°)	41,36	-138,64	41,36	-138,64	-48,71	131,31	-48,71	131,31

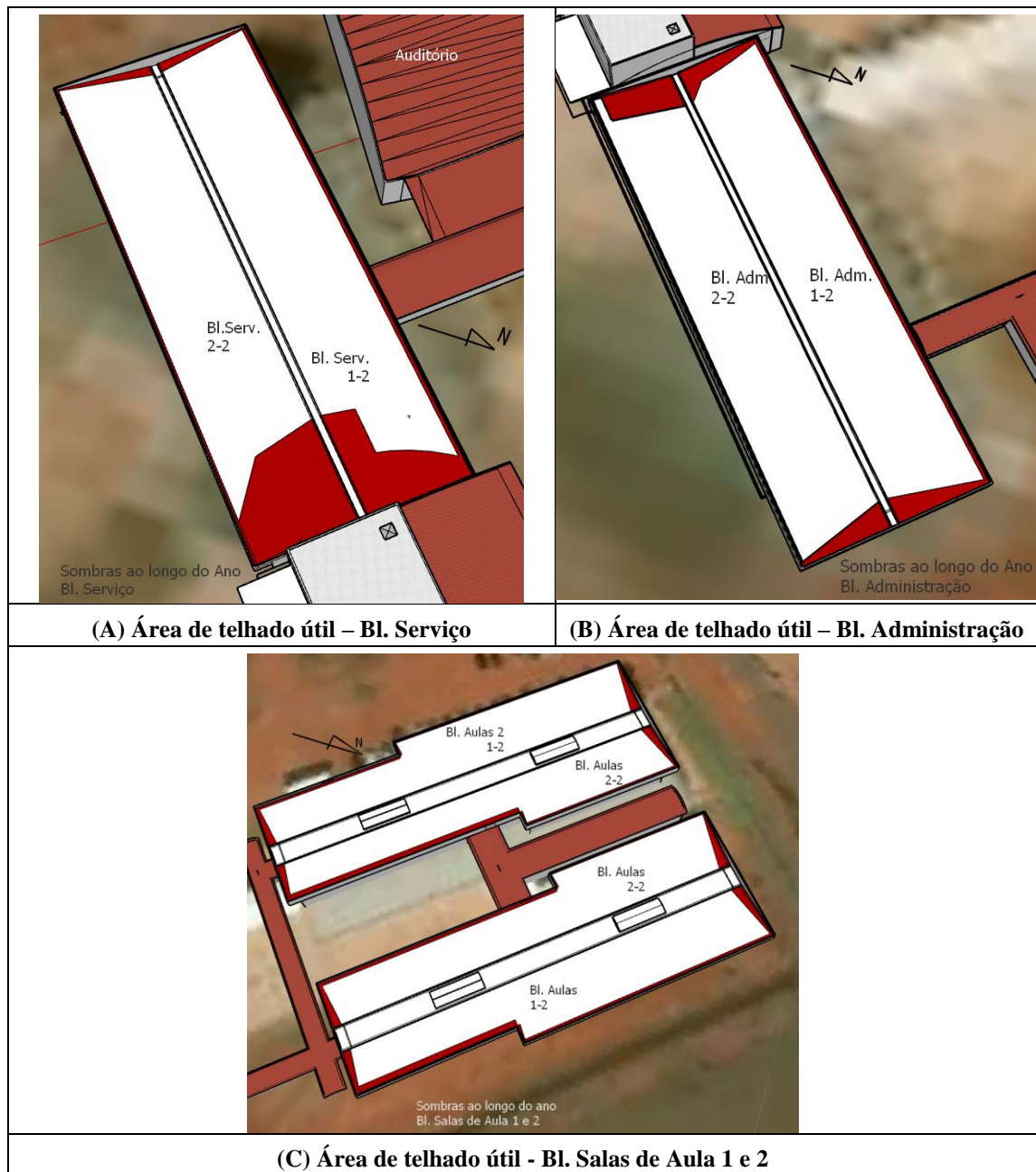


Figura 5.2 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos Administração, Serviços e Sala de Aula 1 e 2

5.1.3 Configuração de Montagem dos Painéis

As análises envolvem a realização de quatro configurações de montagem dos painéis fotovoltaicos, que podem ser instalados: i) sem angulação e acompanhando a inclinação da cobertura na posição transversal, ii) sem angulação e acompanhando a inclinação da cobertura na posição longitudinal, iii) com ângulo de inclinação igual à latitude local, em relação ao solo na posição transversal, e iiii) com ângulo de inclinação igual à latitude local, em relação ao solo na posição longitudinal, conforme Figura 4.4 .

5.1.4 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Águas Lindas

A informação da irradiação solar incidente sobre a localidade necessária para o cálculo do potencial de geração foi dada pelo software Radasol 2 após receber como informação o ângulo azimutal e a inclinação dos painéis em relação ao solo, para cada um dos telhados que compõem o campus.

O programa Radasol 2 não possui no seu banco de dados a cidade de Águas Lindas, então as informações declaradas são referentes à cidade de Brasília, situada a 54 km. Os valores de irradiação solar obtidos estão mostrados na Tabela 5.3.

Os valores de irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Águas Lindas, que estão demonstrados na Tabela 5.3, mostram que nas configurações n° 01 e n° 02 os painéis voltados para o norte recebem uma quantidade maior de irradiação solar, equivalente a 2,66% a mais que os telhados voltados para o sul. Se a comparação for realizada para os telhados voltados para o norte em relação aos voltados para o leste a diferença é de 0,18%. O mesmo comparativo é realizado nas configurações n° 03 e n° 04 resultando em 9,56% e 0,36%, respectivamente.

Os dados da Tabela 5.3 comprovam que a geração fotovoltaica é mais produtiva com os painéis voltados para o norte, com pequena redução de produção se estiverem posicionados para o leste. A menor produção de energia será para as orientações oeste e sul.

Quando a observação é realizada entre as simulações, verifica-se que a diferença entre telhados voltados para a mesma orientação geográfica nas configurações de montagens n° 03 e n° 04, com correção da inclinação dos painéis, apresentam um ganho de 1,66% em relação às configurações n° 01 e n° 02, demonstrando que não há variação significativa na quantidade de irradiação solar incidente sobre os painéis por estarem posicionados de forma plana ou inclinada.

5.1.5 Potencial de geração fotovoltaica do Campus Águas Lindas

A quantidade de energia fotovoltaica que cada telhado pode produzir é então calculada com o auxílio da expressão 3.3. Os dados para aplicação da expressão são: a irradiação média anual por telhado apresentada na Tabela 5.3, o valor de 15,42% para eficiência do painel e a área do painel especificado. A Tabela 5.4 dispõe a estimativa do potencial de geração fotovoltaica para os telhados do Campus Águas Lindas.

Tabela 5.3 - Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Águas Lindas

Telhado	Administrativo		Serviço		Salas de Aula 1		Salas de Aula 2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01 e 2 - sem correção da inclinação								
Irradiação Média (kWh/m ² .dia)	5,41	5,27	5,41	5,27	5,42	5,28	5,42	5,28
Configuração n° 03 e 4 – com correção da inclinação								
Irradiação Média (kWh/m ² .dia)	5,50	5,02	5,50	5,02	5,48	5,03	5,48	5,03

A configuração n° 01 e a n° 02, que recebem os painéis fotovoltaicos instalados sobre a cobertura dos prédios, sem a correção da inclinação do telhado pela latitude, comportam respectivamente 1458 e 1392 painéis e produzem a quantidade de 2012,05 kWh e 1896,55 kWh. A diferença de produção entre estas configurações é de 6,09%, sendo a configuração n° 01 mais produtiva que a configuração n° 02.

A comparação entre as configurações n° 03 e n° 04 apontam que a configuração n° 04 produz 9,17% a mais que a configuração n° 03. Nas configurações n° 03 e n° 04 os painéis são instalados com a correção da inclinação do telhado.

Se a comparação for realizada entre as configurações que mais produzem e as que menos produzem, a diferença de produção de energia elétrica é de 61,64%. Esse percentual indica que posicionar os painéis adequadamente representa um ganho expressivo na geração fotovoltaica.

5.1.6 Avaliação da melhor configuração de montagem dos painéis

Os dados da Tabela 5.4 mostram que as configurações que mais produzem são de n° 01 e n° 02. A diferença entre essas configurações é o posicionamento dos painéis. Na configuração n° 01 os painéis estão na posição transversal e na configuração n° 02 os painéis estão na posição longitudinal. Diante dos critérios de avaliação da melhor configuração de montagem dos painéis, estabelecidos no item 4.1.8, os resultados apontados na Tabela 5.4 demonstram que as configurações n°1 e n°2 despontam nas análises, pois:

- ✓ Permitem a instalação de corredores que facilitam o acesso aos painéis para execução dos serviços de limpeza, substituição e troca de cabos e conectores;
- ✓ Reduzem o custo da instalação na dispensa da estrutura para a inclinação dos painéis;

- ✓ Recebem maior quantidade de painéis e produzem mais energia elétrica;
- ✓ Eliminam o risco de os painéis fotovoltaicos serem arrancados pela força dos ventos.

A organização dos painéis sobre os telhados tem relação direta com o formato da cobertura. Um telhado mais alongado, por exemplo, pode comportar mais painéis na posição longitudinal que na transversal. Diante desta observação, os demais câmpus avaliados neste estudo recebem as simulações das configurações de montagem n° 01 e n° 02.

Tabela 5.4 - Estimativa do potencial de geração fotovoltaica por telhado

Telhado	Administrativo		Serviço		Salas de Aula 1		Salas de Aula 2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01 – 1.458 painéis; 327,52 kWp; 2.012,05 kWh								
Quantidade de painéis	144	142	164	164	218	204	204	218
produção diária/painel (kWh)	1,39	1,36	1,39	1,36	1,39	1,36	1,39	1,36
produção diária/telhado (kWh)	200,14	192,44	227,94	222,25	303,41	276,72	283,93	295,71
Configuração n° 02 – 1.392 painéis; 312,70 kWp; 1.896,55 kWh.								
Quantidade de painéis	136	132	157	157	202	184	184	202
produção diária/painel (kWh)	1,41	1,32	1,41	1,32	1,40	1,32	1,40	1,32
produção diária/telhado (kWh)	202,67	189,72	228,00	213,43	286,55	245,57	261,27	269,34
Configuração n° 03 – 921 painéis; 206,89 kWp ; 1.244,36 kWh								
Quantidade de painéis	77	74	89	89	155	141	141	155
produção diária/painel (kWh)	1,39	1,27	1,39	1,27	1,39	1,27	1,39	1,27
produção diária/telhado (kWh)	107,07	93,85	123,75	112,87	214,90	179,33	195,49	197,13
Configuração n° 04 – 1.022 painéis; 229,58 kWp ; 1.358,46 kWh								
Quantidade de painéis	105	105	87	87	157	162	162	157
produção diária/painel (kWh)	1,39	1,27	1,39	1,27	1,39	1,27	1,39	1,27
produção diária/telhado (kWh)	146,00	133,16	120,97	110,34	217,67	206,03	224,61	199,68

5.1.7 Consumo energético do Campus Águas Lindas

Os dados do consumo de energia elétrica registrados pela concessionária de distribuição no período de março/2015 a dezembro/2017, apontam que os maiores consumos de energia registrados no Campus Águas Lindas ocorrem nos meses de setembro e outubro, conforme pode ser observado no Gráfico 5.1.

Pelos dados obtidos nas faturas de energia, verifica-se que o consumo no ano de 2017 é superior a 2016, registrando a média de 6.353,57 kWh/mês, equivalente a 211,79 kWh/dia. Na classificação tarifária da concessionária de energia o Campus Águas Lindas está enquadrado no grupo B, e para essa categoria não há contratação de demanda.

A comparação do consumo diário em 2017, com a produção estimada de energia elétrica apontada na Tabela 5.4, indica que o campus tem na configuração n° 01 a capacidade de atender até 9,50 vezes a necessidade diária e, na configuração n° 02 esta capacidade é um pouco menor e chega a 8,68 vezes. A Tabela 5.5 mostra o resumo do potencial e da equivalência de geração em relação ao consumo do campus Águas Lindas.

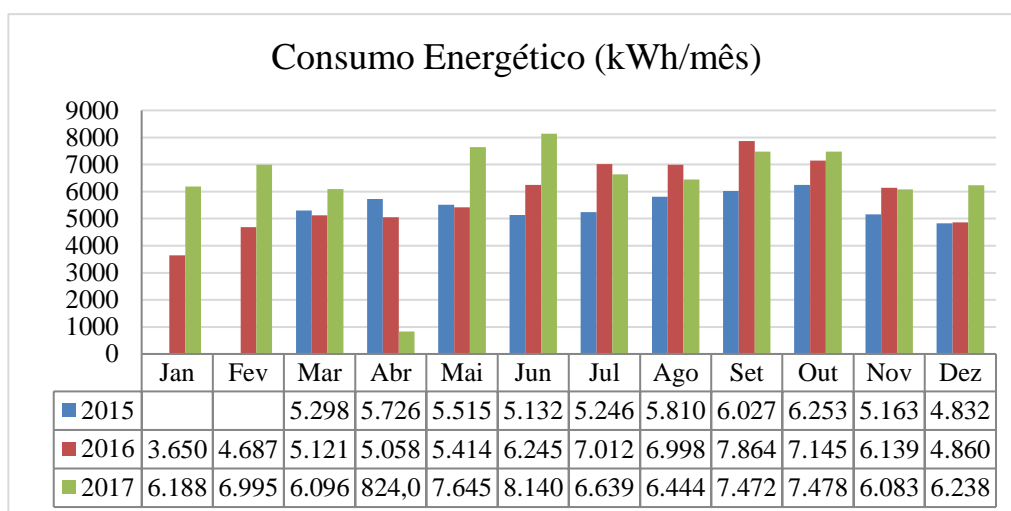


Gráfico 5.1 - Consumo de Energia Campus Águas Lindas (CELG, 2018)

Tabela 5.5 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Águas Lindas

<i>Configuração</i>	<i>Painéis (un)</i>	<i>Potência (kWp)</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Relação Produção versus Consumo</i>
1	1.458	327,52	2.012,05	9,50
2	1.392	312,70	1.896,55	8,68
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	5,37			
Consumo (kWh/dia)	211,79			
Demanda contratada (kW)	Não há			

A utilização dos telhados do Campus Águas Lindas para gerar energia elétrica fotovoltaica tem potencial para produzir quantidade que ultrapassa suas necessidades energéticas e ainda gerar excedente para ser injetado na rede da concessionária de energia elétrica.

5.2 PROCEDIMENTO II

O procedimento II é direcionado para os câmpus localizados nas cidades de Anápolis, Aparecida de Goiânia, Formosa, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Uruaçu e Valparaíso. Nestes campus serão realizados somente as simulações de configurações de montagem n° 01 e n° 02 pois, foram mais bem avaliadas pelos critérios definidos no item 4.1.8.

Foram desconsiderados na pesquisa os câmpus: Goiânia Oeste, por ainda estar em construção; Goiânia, por já possuir projeto específico; Senado Canedo, por estar funcionando em instalação provisória fora da localização indicada no projeto arquitetônico, entregue pela Diretoria de Engenharia e; Cidade de Goiás, onde todos os telhados possuem formato de arco e não são apropriados para receberem painéis fotovoltaicos.

Todos os câmpus citados têm atividades acadêmicas nos períodos diurnos e noturnos, com oferta de curso de nível técnico e superior e com instalações destinadas à administração, serviço, auditórios, bibliotecas, salas de aulas e laboratórios.

5.3 CAMPUS ANÁPOLIS

5.3.1 Caracterização do Campus Anápolis

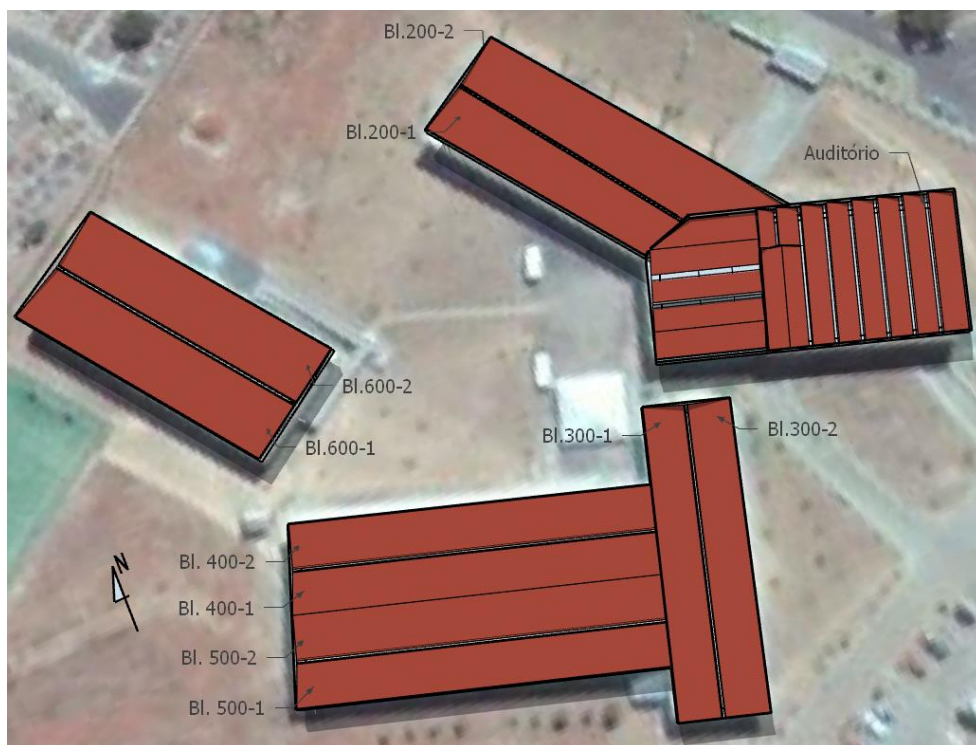
Situado na cidade de Anápolis, o campus está localizado na latitude de 16°22'23,98"S e longitude 48°58'55,47"W. A estrutura conta com seis blocos divididos em: bloco 100 (auditório), bloco 200 (administração e biblioteca), bloco 300 (construção civil e núcleo tecnológico), bloco 400 (informática e ciências), bloco 500 (controle de processos industriais e aulas teóricas) e bloco 600 (laboratórios).

O levantamento dos principais dados do Campus Anápolis necessários para a realização desta pesquisa estão contidos na Tabela 5.6 e suas informações foram trazidas dos projetos arquitetônicos disponibilizados pela Instituição.

A Figura 5.3 traz a vista superior do Campus Anápolis, na posição georreferenciada, com a indicação do norte geográfico.

Tabela 5.6 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Anápolis

Telhado	Bloco 200		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500		Bloco 600	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ângulo de inclinação do telhado (°)	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	2,87	2,87
orientação geográfica	oeste	leste	oeste	leste	norte	sul	norte	sul	oeste	leste
Ângulo azimutal (°)	-55,43	124,57	-109,43	70,57	-19,43	160,57	-19,53	160,57	-55,79	124,21

**Figura 5.3 - Vista superior do Campus Anápolis**

5.3.2 Estudos de sombreamento

São avaliados nos estudos de sombreamento os blocos 200, 300, 400, 500 e 600, que juntos possuem 4.978,22 m² de cobertura. A verificação das áreas de telhado que estão suscetíveis ao sombreamento solar é realizada com o programa SketchUp simulando o movimento solar nos dias 21/06 e 21/12 às 9h, 12h e 15h.

Os Anexo D, Anexo E e Anexo F apresentam a representação gráfica do sombreamento solar sobre os prédios do campus e a Figura 5.4 mostra o resultado dos estudos de sombreamento, indicando na cor branca as áreas de telhado útil para a instalação de painéis sobre os blocos selecionados na pesquisa e que compõem o Câmpus Anápolis.

Os estudos concluem que, desconsiderando as áreas de telhado que estão expostas a sombras solares ao longo do ano, a área útil para a instalação de painéis fotovoltaicos é de 4.706,87 m², representando uma redução de 5,45% da área de cobertura.

5.3.3 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Anápolis

A Tabela 5.7 apresenta os dados de irradiação solar média incidente sobre o Campus Anápolis. As informações, fornecidas pelo programa Radiasol 2, são referentes à cidade de Goiânia localizada à 59 km da cidade de Anápolis. Ao programa são informados a localização, o ângulo de inclinação dos painéis em relação ao solo e o ângulo azimutal do telhado.

5.3.4 Potencial de geração fotovoltaica nos telhados do Campus Anápolis

Para o Campus Anápolis são realizadas duas configurações de montagem de painéis, ambas com a previsão dos corredores de manutenção e os painéis posicionados na transversal e na longitudinal, em relação ao beiral do telhado.

Na configuração n° 01 os painéis estão na posição transversal e os telhados recebem 1724 painéis e na configuração n° 02 os painéis estão na posição longitudinal e os telhados comportam 1480 painéis.

Pela utilização dos dados de irradiação solar na expressão 3.3 e adotando a eficiência do painel fotovoltaico de 15,42%, é obtido o potencial de geração fotovoltaico por telhado fotovoltaico. Na Tabela 5.8 são apresentados a quantidade de painéis sobre cada telhado e o potencial de geração.

Tabela 5.7 - Irradiação solar média incidente sobre o Campus Anápolis

Telhado	Bloco 200		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500		Bloco 600	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	5,04	4,91	5,03	5,02	5,09	4,87	5,09	4,87	5,04	4,91

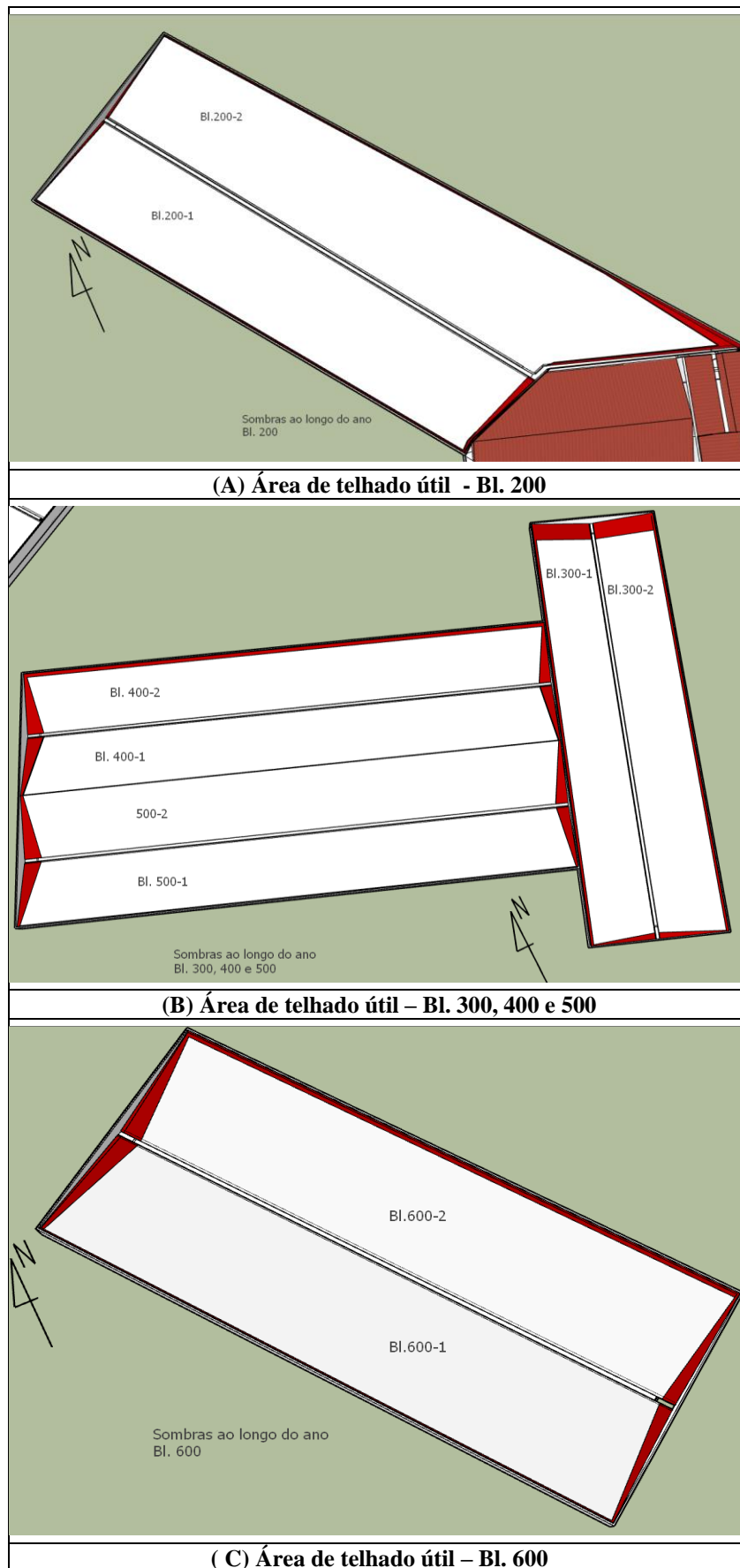


Figura 5.4 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 200, 300, 400, 500 e 600 do Câmpus Anápolis

Tabela 5.8 - Estimativa do potencial de geração fotovoltaica por telhado no Campus Anápolis

Telhado	Bloco 200		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500		Bloco 600	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01 – 1.724 painéis; 387,28 kWp; 2.168,58 kWh										
n° de painéis	182	210	150	150	168	168	168	168	180	180
produção diária/ painel (kWh)	1,27	1,24	1,27	1,27	1,28	1,23	1,28	1,23	1,27	1,24
produção diária/ telhado (kWh)	231,71	260,02	190,34	189,96	215,79	206,46	215,79	206,46	229,16	222,88
Configuração n° 02– 1.480 painéis; 332,46 kWp ; 1.861,34 kWh										
n° de painéis	166	194	120	120	136	136	136	136	168	168
produção diária/ painel (kWh)	1,28	1,22	1,24	1,27	1,31	1,20	1,31	1,20	1,29	1,20
produção diária/ telhado (kWh)	213,12	235,76	148,26	152,29	177,61	162,82	177,61	162,82	216,32	202,22

Os resultados da Tabela 5.8 apontam um ganho de 16,50% na estimativa de geração de fotovoltaica quando é considerada para implantação a configuração n° 01 em relação à configuração n° 02. Demonstrando que posicionar os painéis adequadamente pode influenciar significativamente a geração de energia.

5.3.5 Consumo de energia elétrica

O Gráfico 5.2 mostra os registros de consumo de energia do Campus Anápolis, no período de janeiro/2015 a agosto/2017. Percebe-se nas informações do gráfico um significativo aumento no ano de 2016 durante os meses de junho e julho provavelmente, provocado pela intensa utilização dos aparelhos de ar condicionado. Coincidentemente, os meses de maior consumo de energia também são os meses de maior irradiação solar sobre a localidade.

Conforme os dados obtidos junto à concessionária de energia, o campus registra consumo mensal médio no período avaliado de 12.138,99 Wh, o que corresponde à necessidade diária de energia de 404,63 Wh, e possui demanda contratada na concessionária de 114 kW.

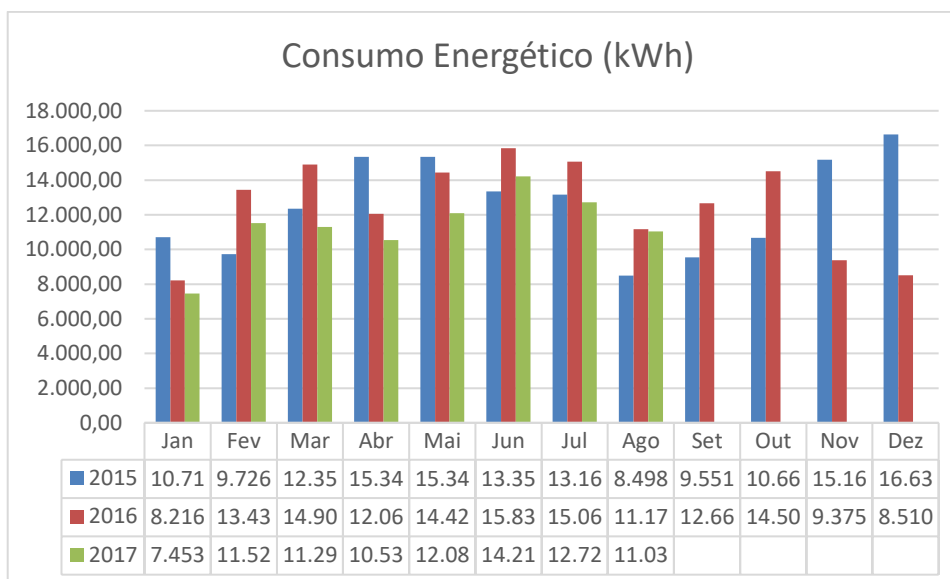


Gráfico 5.2 - Consumo de Energia Campus Anápolis (CELG,2018)

A Tabela 5.9 mostra um resumo do potencial de geração fotovoltaica no campus Anápolis, que tem capacidade para gerar diariamente na configuração n° 01, com os painéis posicionados na transversal, 2168,58 kWh e na configuração n° 02, estando os painéis posicionados na longitudinal, 1861,34 kWh. Em relação ao consumo diário do campus, a geração fotovoltaica na configuração n° 01 equivale a 5,35 vezes e na configuração n° 02 de 4,6 vezes.

O Campus Anápolis tem capacidade para gerar energia elétrica através de painéis solares instalados sobre os telhados em quantidade suficiente para atender suas necessidades do campus e ainda injetar energia na rede da concessionária de energia.

Tabela 5.9 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Anápolis

<i>Configuração</i>	<i>Painéis (un)</i>	<i>Potência (kWp)</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Relação Produção versus Consumo</i>
1	1.724	387,28	2.168,58	5,35
2	1.480	332,46	1.861,34	4,60
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	4,99			
Consumo (kWh/dia)	404,63			
Demanda contratada (kW)	114,00			

5.4 CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA

5.4.1 Caracterização do Campus Aparecida de Goiânia

O Campus Aparecida de Goiânia está situado na região metropolitana da capital do estado de Goiás sendo sua localização geográfica estabelecida na latitude de 16°49'0.433"S e longitude de 49°16'14.916"W.

A Figura 5.5 apresenta o empreendimento, que é composto de bloco salas de aula 1 e 2, bloco serviço/administrativo e prédios destinados a refeitório e galpão tecnológico.

As principais informações dos prédios que compõem o Campus Aparecida de Goiânia e a denominação dos telhados estão apresentadas na Tabela 5.10 e Tabela 5.11. O prédio destinado ao refeitório e as passarelas foram retiradas das pesquisas, conforme item 4.1.2.

5.4.2 Estudos de sombreamento

Os estudos de sombreamento são realizados com a finalidade de apontar as áreas úteis de telhado, eliminando os locais que podem receber sombras e prejudicar o bom desempenho dos painéis fotovoltaicos. Estão contidos nos estudos de sombreamento os prédios galpão tecnológico, blocos administração, serviço, salas de aula 1 e 2, que juntos totalizam 5692,61 m² de cobertura de telhado.

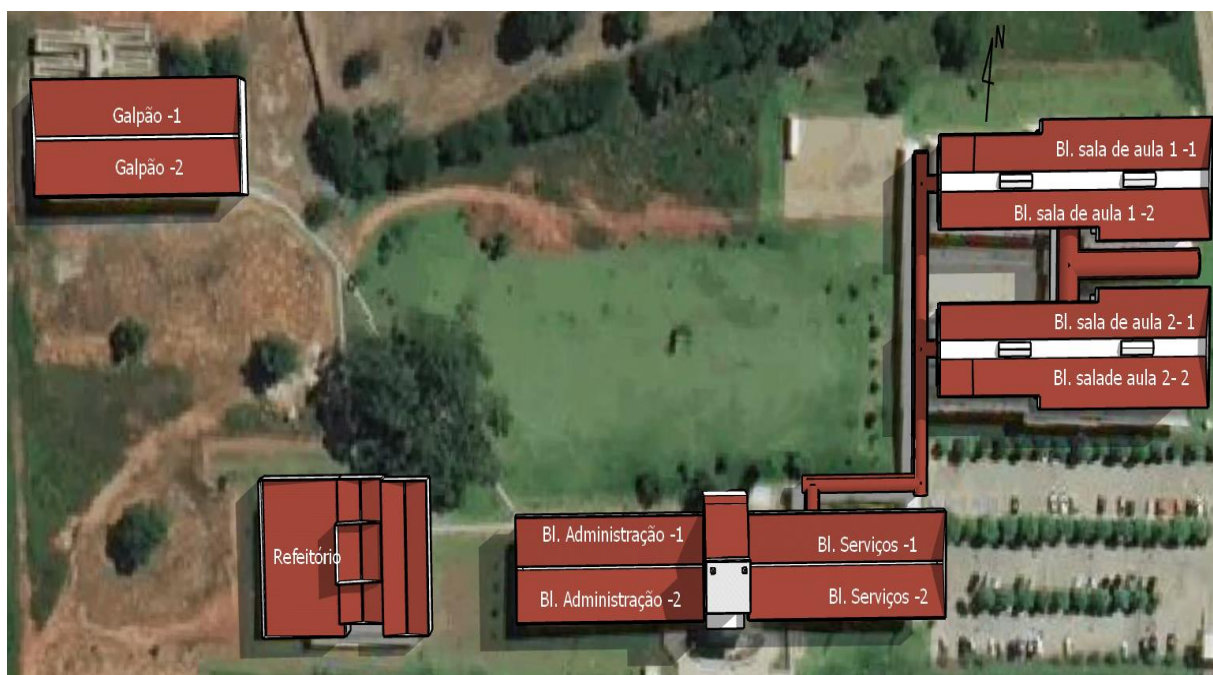


Figura 5.5 - Disposição dos prédios Campus Aparecida de Goiânia

Tabela 5.10 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Aparecida de Goiânia

<i>Telhado</i>	<i>Salas de Aula 1</i>		<i>Salas de Aula 2</i>		<i>Administrativo</i>	
	1	2	1	2	1	2
ângulo de inclinação do telhado (°)	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59
orientação geográfica	norte	sul	norte	sul	norte	sul
angulo azimutal (°)	3,1	-176,9	3,1	-176,9	3,1	-176,9

Tabela 5.11 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Aparecida de Goiânia

<i>Telhado</i>	<i>Serviço</i>		<i>Galpão Tecnológico</i>	
	1	2	1	2
ângulo de inclinação do telhado (°)	4,59	4,59	6,89	6,89
orientação geográfica	norte	sul	norte	sul
angulo azimutal (°)	3,1	-176,9	3,1	-176,9

A Figura 5.6 mostra, na cor branca, a representação gráfica das áreas de telhado útil durante todo o ano dos prédios que compõem o Câmpus Aparecida de Goiânia e os Anexo G, Anexo H, Anexo I, Anexo J representam graficamente o sombreamento solar durante os solstícios de inverno e solstícios de verão nos horários de 9h, 12h e 15h, sobre os prédios selecionados para a pesquisa.

Os estudos de sombreamento determinam que a área de telhado útil para a instalação de painéis fotovoltaicos no Câmpus Aparecida de Goiânia é de 5087,58 m², estabelecendo uma redução de 10,62% na área total da cobertura dos prédios destacados.

5.4.3 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Aparecida de Goiânia

O programa Radiasol 2 não possui dados meteorológicos específicos da cidade de Aparecida de Goiânia, contudo, por estar localizada a 14,97 km de distância de Goiânia, a cidade de Goiânia foi adotada como referência para extração das informações necessárias para aplicação na pesquisa, as quais estão demonstradas na Tabela 5.12e na Tabela 5.13.

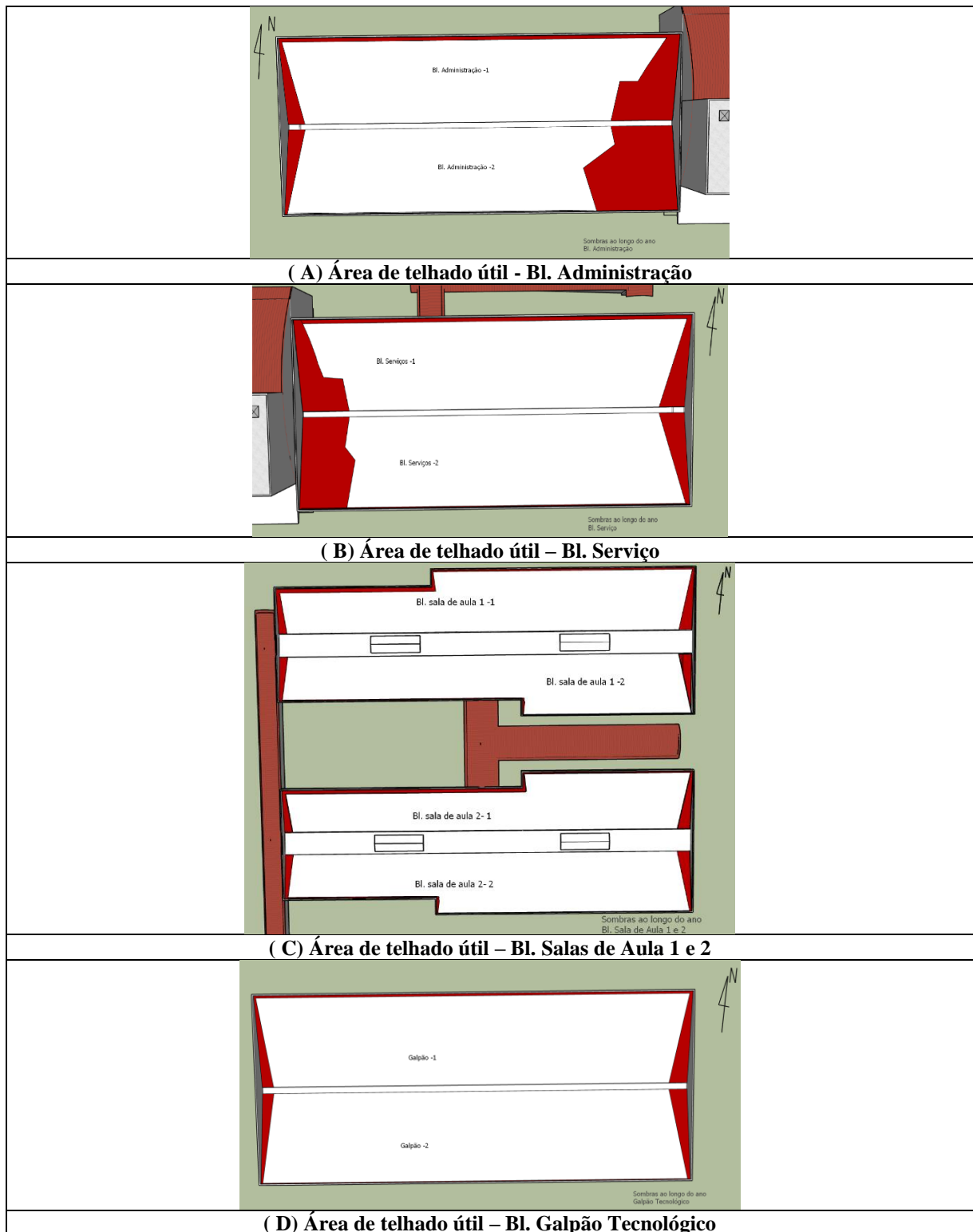


Tabela 5.12 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos sala de aula 1 e 2 e administração do Campus Aparecida de Goiânia

<i>Telhado</i>	<i>Salas de Aula 1</i>		<i>Salas de Aula 2</i>		<i>Administrativo</i>	
	1	2	1	2	1	2
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	5,07	4,89	5,07	4,89	5,07	4,89

Tabela 5.13 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos serviço e galpão tecnológico do Campus Aparecida de Goiânia

<i>Telhado</i>	<i>Serviço</i>		<i>Galpão Tecnológico</i>	
	1	2	1	2
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	5,07	4,89	5,07	4,89

5.4.4 Potencial de geração fotovoltaica do Campus Aparecida de Goiânia

Os telhados do Campus Aparecida de Goiânia também recebem duas configurações de montagens de painéis, sendo que a configuração n° 01 trata dos módulos fotovoltaicos posicionados na transversal e a de n° 02 dos painéis posicionados na longitudinal. Na configuração n° 01 é possível instalar 1964 painéis e na configuração n° 02, 1736 painéis.

O potencial de geração fotovoltaica do Campus Aparecida de Goiânia foi calculado para as configurações n° 01 e n° 02, utilizando as informações já apresentadas e exigidas pela expressão 3.3. As Tabela 5.14 e Tabela 5.15 informam a quantidade de painéis que pode ser instalada sobre os telhados do Campus Aparecida de Goiânia.

Tabela 5.14 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Aparecida de Goiânia nas configurações 01 e 02 nos blocos salas de aula 1 e 2 e administrativo

<i>Telhado</i>	<i>Salas de Aula 1</i>		<i>Salas de Aula 2</i>		<i>Administrativo</i>	
	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01 – Transversal						
n° de painéis	232	218	218	232	180	188
produção diária/ painel (kWh)	1,28	1,23	1,28	1,23	1,28	1,23
produção diária/ telhado (kWh)	297,07	269,20	279,15	286,48	230,49	232,15
Configuração n° 02– Longitudinal						
n° de painéis	200	182	182	200	168	168
produção diária/ painel (kWh)	1,28	1,23	1,28	1,23	1,28	1,23
produção diária/ telhado (kWh)	256,10	224,74	233,05	246,97	215,12	207,45

Tabela 5.15 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Aparecida de Goiânia nas configurações 01 e 02 nos blocos serviço e galpão tecnológico

Telhado	Serviço		Galpão Tecnológico	
	1	2	1	2
Configuração n° 01 - Transversal				
n° de painéis	160	160	188	188
produção diária/ painel (kWh)	1,28	1,23	1,28	1,23
produção diária/ telhado (kWh)	204,88	197,57	240,73	232,15
Configuração n° 02- Longitudinal				
n° de painéis	150	150	168	168
produção diária/ painel (kWh)	1,28	1,23	1,28	1,23
produção diária/ telhado (kWh)	192,07	185,23	215,12	207,45

Em valores totalizados, o potencial de geração diária na configuração n° 01 com 1.964 painéis é de 441,19 kWp - 2.469,86 kWh e na configuração n° 02 com 1.736 painéis o potencial diário é de 389,97 kWp - 2.183,30 kWh. A diferença entre a estimativa de produção energética entre as configurações é 13,13%.

5.4.5 Consumo de energia elétrica

O Gráfico 5.3 apresenta os dados de consumo energético do Campus Aparecida de Goiânia, entre janeiro/2015 e agosto/2017. A representação gráfica revela que o consumo se manteve estável durante os anos de 2016 e 2017. Contudo, se a comparação se estender ao ano de 2015, fica perceptível o aumento do consumo de energia elétrica. Os dados apresentados expressam a média de consumo mensal de 13055 kWh e 436,21 kWh/dia, no período avaliado. O campus tem contratado com a concessionária de energia a demanda mensal de 350 kW.

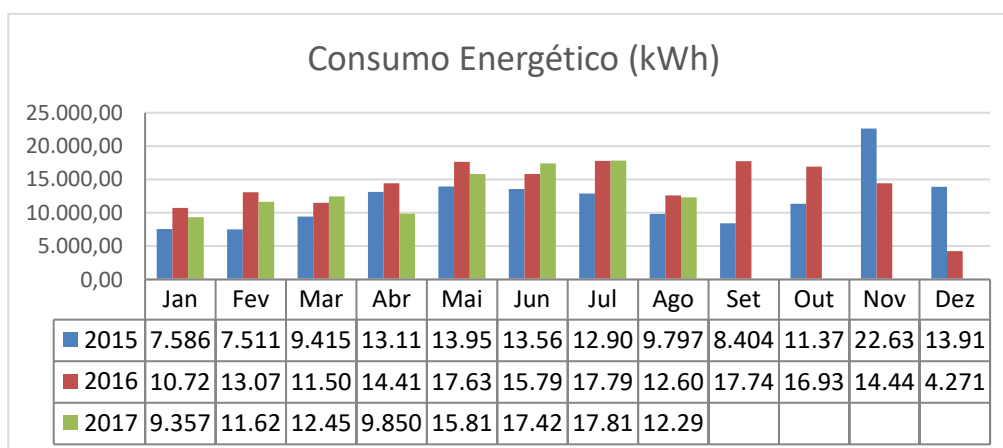


Gráfico 5.3 - Consumo de Energia Campus Aparecida de Goiânia (CELG, 2017)

Com potencial de geração estimado em 2.183,30 kWh/dia, na configuração longitudinal, a que possui menor número de painéis instalados, o Campus Aparecida de Goiânia pode gerar energia elétrica suficiente para seu suprimento e de mais outros cinco empreendimentos de igual consumo. A Tabela 5.16 mostra o resumo dos resultados obtidos pela simulação das configurações n°1 e n°2, com os painéis fotovoltaicos instalados nas áreas úteis de telhado do campus Aparecida de Goiânia.

O Campus Aparecida de Goiânia tem capacidade para que, por meio da instalação de painéis fotovoltaicos sobre os telhados dos blocos indicados neste estudo, seja autossuficiente energeticamente.

5.5 CAMPUS FORMOSA

5.5.1 Caracterização do Campus Formosa

O Campus Formosa, representado graficamente na Figura 5.7, está localizado na latitude 15°33'46,14"S e longitude 47°19'40,02"W, bem próximo à cidade de Brasília. Possui três prédios distintos divididos em blocos para abrigar o auditório (bloco 100), a biblioteca e administração (bloco 200), laboratórios da área de construção civil e núcleo pedagógico (bloco 300), laboratórios da área de informática e ciências (bloco 400), laboratórios da área de controle e processos industriais e salas aulas teóricas (bloco 500) e galpão tecnológico.

A área de cobertura de telhados adequados para a instalação de painéis fotovoltaicos no Campus Formosa é de 4709,51m², o Bloco 100 destinado ao auditório não está sendo considerado na pesquisa para geração de energia fotovoltaica. As Tabela 5.17 e Tabela 5.18 apresentam os dados dos prédios que fazem parte do campus e que são necessários para a análise da pesquisa.

Tabela 5.16 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Aparecida de Goiânia

<i>Configuração</i>	<i>Painéis (un)</i>	<i>Potência (kWp)</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Relação Produção versus Consumo</i>
1	1.964	441,19	2.469,86	5,66
2	1.736	389,97	2.183,30	5,04
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	4,98			
Consumo (kWh/dia)	436,21			
Demanda contratada (kW)	350,00			



Figura 5.7 - Disposição dos prédios Campus Formosa

Tabela 5.17 - Dados dos telhados do Campus Formosa_ Blocos 200, 300 e 400

Telhado	Bloco 200		Bloco 300		Bloco 400	
	1	2	1	2	1	2
ângulo de inclinação do telhado (°)	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74
orientação geográfica	sul	norte	leste	oeste	sul	norte
ângulo azimutal (°)	142,27	-37,73	87,86	-92,14	177,86	-2,14

Tabela 5.18 - Dados dos telhados do Campus Formosa_ Bloco 500 e Galpão Tecnológico

Telhado	Bloco 500		Galpão Tecnológico	
	1	2	1	2
ângulo de inclinação do telhado (°)	5,74	5,74	5,74	5,74
orientação geográfica	sul	norte	norte	sul
ângulo azimutal (°)	177,86	-2,14	-2,14	177,86

5.5.2 Estudo de sombreamento

Os estudos de sombreamento do Campus Formosa foram divididos em três figuras com o objetivo de apontar os locais de telhado em que as sombras podem comprometer a geração fotovoltaica.

As imagens são simulações realizadas com o software SketchUp nos horários de 9h, 15h e 17h, durante os solstícios de inverno (21/06) e de verão (21/12), mostradas nos Anexo K, Anexo L e Anexo M.

A Figura 5.8 apresenta, em branco, a representação gráfica das áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os blocos 200, 300, 400, 500 e galpão tecnológico do Câmpus Formosa.

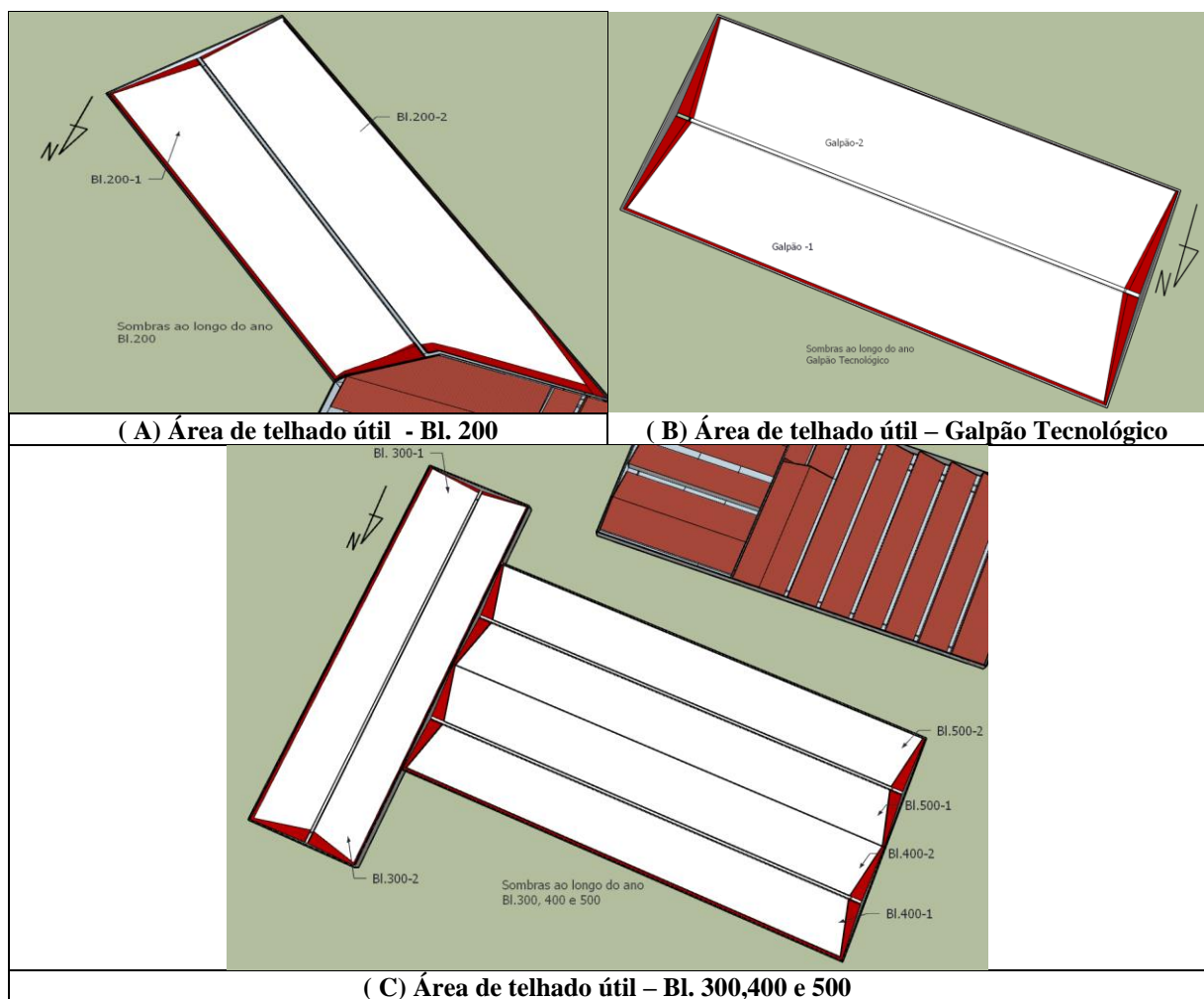


Figura 5.8 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 200, 300, 400 e 500 e Galpão Tecnológico do Câmpus Formosa

Após a realização dos estudos de sombreamento no câmpus Formosa constatou-se que as áreas úteis de telhado totalizam 4.799,51 m², uma redução de 3,59% na área total de cobertura de telhados.

5.5.3 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Formosa

Pela utilização das informações da cidade de Formosa contidas no banco de dados do programa Radiasol 2, foram estabelecidos os valores de irradiação solar a que cada telhado do empreendimento está exposto, conforme apresentado nas Tabela 5.19 e Tabela 5.20.

5.5.4 Potencial de geração fotovoltaica do Campus Formosa

As simulações de montagem de painéis foram realizadas nas configurações n° 01 e n° 02 no Campus Formosa, resultando em 1.964 painéis/ 441,19 kWp - 2.412,55 kWh na configuração n° 01 e 1.736 painéis/ 389,97 kWp - 2.131,95 kWh na configuração 02. As Tabela 5.21 e 5.22 apresentam a quantidade de painéis que podem ser instalados por telhado e o potencial de geração.

5.5.5 Consumo de energia elétrica

Os levantamentos realizados nas faturas de energia elétrica do Campus Formosa, emitidas pela Concessionária local, demonstram no Gráfico 5.4, que a quantidade de energia elétrica utilizada pela instituição de ensino tem permanecido estável, com alguns picos em meses pontuais. A média de consumo mensal no período avaliado, que vai de janeiro/2015 a agosto/2017, foi de 12275,05 kWh e a média diária é de 417,93 kWh. O Campus Formosa possui demanda contratada de 75 kW.

Tabela 5.19 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos 200, 300 e 400 do Campus Formosa

Telhado	Bloco 200		Bloco 300		Bloco 400	
	1	2	1	2	1	2
Ângulo de inclinação do painel (°)	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74
angulo azimutal (°)	142,27	-37,73	87,86	-92,14	177,86	-2,14
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	4,76	4,96	4,86	4,95	4,73	4,98

Tabela 5.20 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos 500 e galpão tecnológico do Campus Formosa

Telhado	Bloco 500		Galpão Tecnológico	
	1	2	1	2
Ângulo de inclinação do painel (°)	5,74	5,74	5,74	5,74
angulo azimutal (°)	177,86	-2,14	-2,14	177,86
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	4,73	4,98	4,98	4,73

Tabela 5.21 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Formosa nas configurações n° 01 e n° 02 nos blocos 200, 300 e 400

<i>Telhado</i>	<i>Bloco 200</i>		<i>Bloco 300</i>		<i>Bloco 400</i>	
	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01						
n° de painéis	232	218	218	232	180	188
produção diária/ painel (kWh)	1,20	1,25	1,23	1,25	1,19	1,26
produção diária/ telhado (kWh)	278,87	272,86	267,54	289,56	214,93	236,14
Configuração n° 02						
n° de painéis	200	182	182	200	168	168
produção diária/ painel (kWh)	1,20	1,25	1,23	1,25	1,19	1,26
produção diária/ telhado (kWh)	240,41	227,80	223,36	249,62	200,60	211,02

Tabela 5.22 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Formosa nas configurações n° 01 e n° 02 nos blocos 500 e galpão tecnológico

<i>Telhado</i>	<i>Bloco 500</i>		<i>Galpão Tecnológico</i>	
	1	2	1	2
Configuração 01				
n° de painéis	160	160	188	188
produção diária/ painel (kWh)	1,19	1,26	1,26	1,19
produção diária/ telhado (kWh)	191,05	200,97	236,14	224,48
Configuração 02				
n° de painéis	150	150	168	168
produção diária/ painel (kWh)	1,19	1,26	1,26	1,19
produção diária/ telhado (kWh)	179,11	188,41	211,02	200,60

A projeção de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos instalados nos telhados do Campus Formosa revela o potencial de produção mínimo diário de 2.131,95 kWh (configuração n° 02). A compatibilização da estimativa de geração com a necessidade energética de diária de 417,93 kWh expõe que o Campus Formosa tem capacidade de produzir energia elétrica 5,77 vezes maior que o que necessita, na configuração n° 02, e 5,10 vezes na configuração n° 01. A Tabela 5.23 mostra o resumo do potencial de geração do campus Formosa.

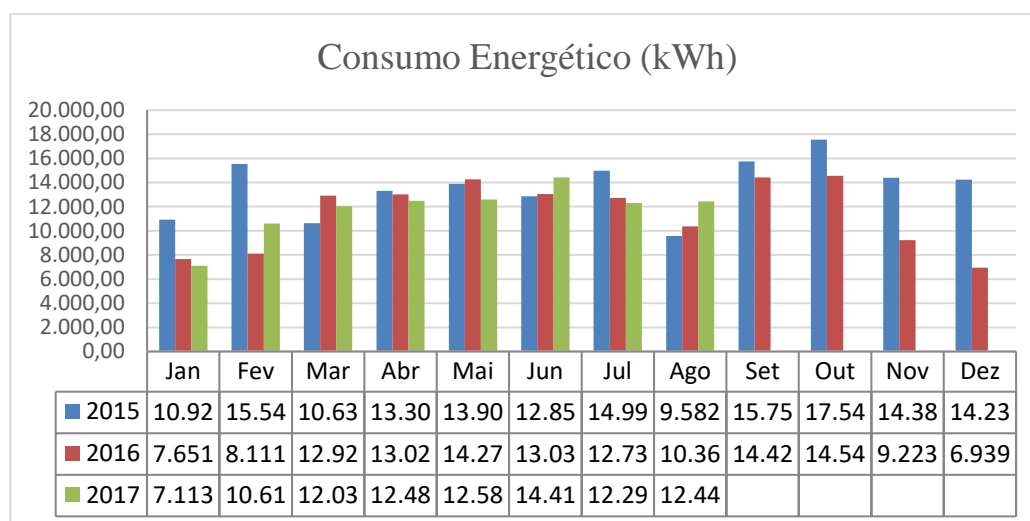


Gráfico 5.4 - Consumo de energia do Campus Formosa (CELG,2017)

Tabela 5.23 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Formosa

<i>Configuração</i>	<i>Painéis (un)</i>	<i>Potência (kWp)</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Relação Produção versus Consumo</i>
1	1.964	441,19	2.412,55	5,77
2	1.736	389,97	2.131,95	5,10
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	4,87			
Consumo (kWh/dia)	417,93			
Demanda contratada (kW)	75,00			

O Campus Formosa tem potencial de geração fotovoltaica suficiente para atender suas necessidades energéticas e ainda injetar o excedente na rede da concessionária de energia em quantidade suficiente para atender a outros quatro câmpus de igual porte.

5.6 CAMPUS INHUMAS

5.6.1 Caracterização do Campus Inhumas

Composto por dez blocos, assim distribuídos: Bloco 100 – Administração, Bloco 200 - Auditório, Bloco 300 - Núcleo Pedagógico e Acadêmico, Bloco 400 - Biblioteca, Bloco 500 - Salas de Aula, Bloco 600 - Salas de Aula, Bloco 700 - Laboratório de química, Bloco 800 - Lab. Tec. Carne e laticínios, Bloco 900 - Lab. Biologia/Física, Bloco 1000 - Lab. Panificação. O Campus Inhumas está situado a 36 km da cidade de Goiânia. A localização do Campus Inhumas é dada pelas coordenadas geográficas latitude de 16°22'20,38"S e de longitude de

49°29'58,08"W e a Figura 5.9 apresenta a disposição dos prédios, georreferenciada, na área do campus.

As informações contidas nos projetos arquitetônicos apontam que a área de cobertura para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os telhados é de 4801,45 m². Nas Tabela 5.24 e Tabela 5.25 estão expostos os principais dados do Campus Inhumas necessários para a realização desta pesquisa.

5.6.2 Estudos de sombreamento

As simulações de incidência de sombreamento solar sobre os prédios que compõem o Campus Inhumas estão representadas graficamente nos Anexo N, Anexo O e Anexo Q. A Figura 5.10 mostra a áreas de telhado que são consideradas úteis para a instalação de painéis fotovoltaicos, por não receberem sombra ao longo do ano.

5.6.3 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Inhumas

Com a finalidade de obter a irradiação solar a que os telhados do Campus Inhumas estão expostos, a utilização do programa Radiasol 2 foi efetivada baseada nos dados da cidade de Goiânia, distante 48,0 km da cidade de Inhumas, as Tabelas 5.26 e 5.27 apresentam os valores da Irradiação solar incidente sobre cada um dos telhados.

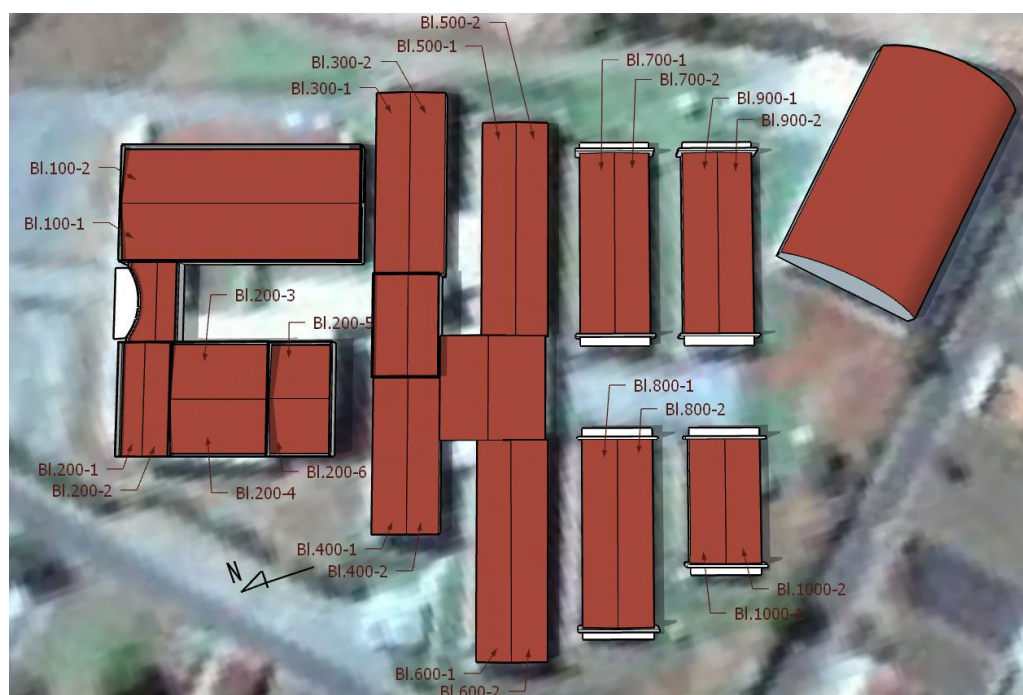


Figura 5.9 - Disposição dos prédios Campus Inhumas

Tabela 5.24 - Dados dos telhados do prédios blocos 100, 300, 400 e 500 do Campus Inhumas

Telhado	Bloco 100		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500	
	1	2	1	2	1	2	1	2
ângulo de inclinação do telhado (°)	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48
orientação geográfica	leste	oeste	sul	norte	sul	norte	sul	norte
ângulo azimutal (°)	-110,30	69,7	159,88	-20,12	159,88	-20,12	159,88	-20,12

Tabela 5.25 - Dados dos telhados do prédios blocos 600, 700, 800, 900 e 1.000 do Campus Inhumas

Telhado	Bloco 600		Bloco 700		Bloco 800		Bloco 900		Bloco 1000	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ângulo de inclinação do telhado (°)	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48
orientação geográfica	sul	norte	sul	norte	sul	norte	sul	norte	sul	norte
ângulo azimutal (°)	159,88	-20,12	159,88	-20,12	159,88	-20,12	159,88	-20,12	159,88	-20,12

Tabela 5.26 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos 100, 300, 400 e 500 do Campus Inhumas

Telhado	Bloco 100		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	4,81	5,03	4,62	5,21	4,62	5,21	4,62	5,21

Tabela 5.27 - Irradiação solar média incidente sobre os blocos 600, 700, 800, 900 e 1000 do Campus Formosa

Telhado	Bloco 600		Bloco 700		Bloco 800		Bloco 900		Bloco 1000	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	4,62	5,21	4,62	5,21	4,62	5,21	4,62	5,21	4,62	5,21

5.6.1 Potencial de geração fotovoltaica do Campus Inhumas

Os potenciais de geração fotovoltaica são recebidos pela aplicação da expressão 3.3 na quantidade de painéis que os telhados comportam. As simulações da capacidade de painéis sobre os telhados também foram realizadas no software Autocad.

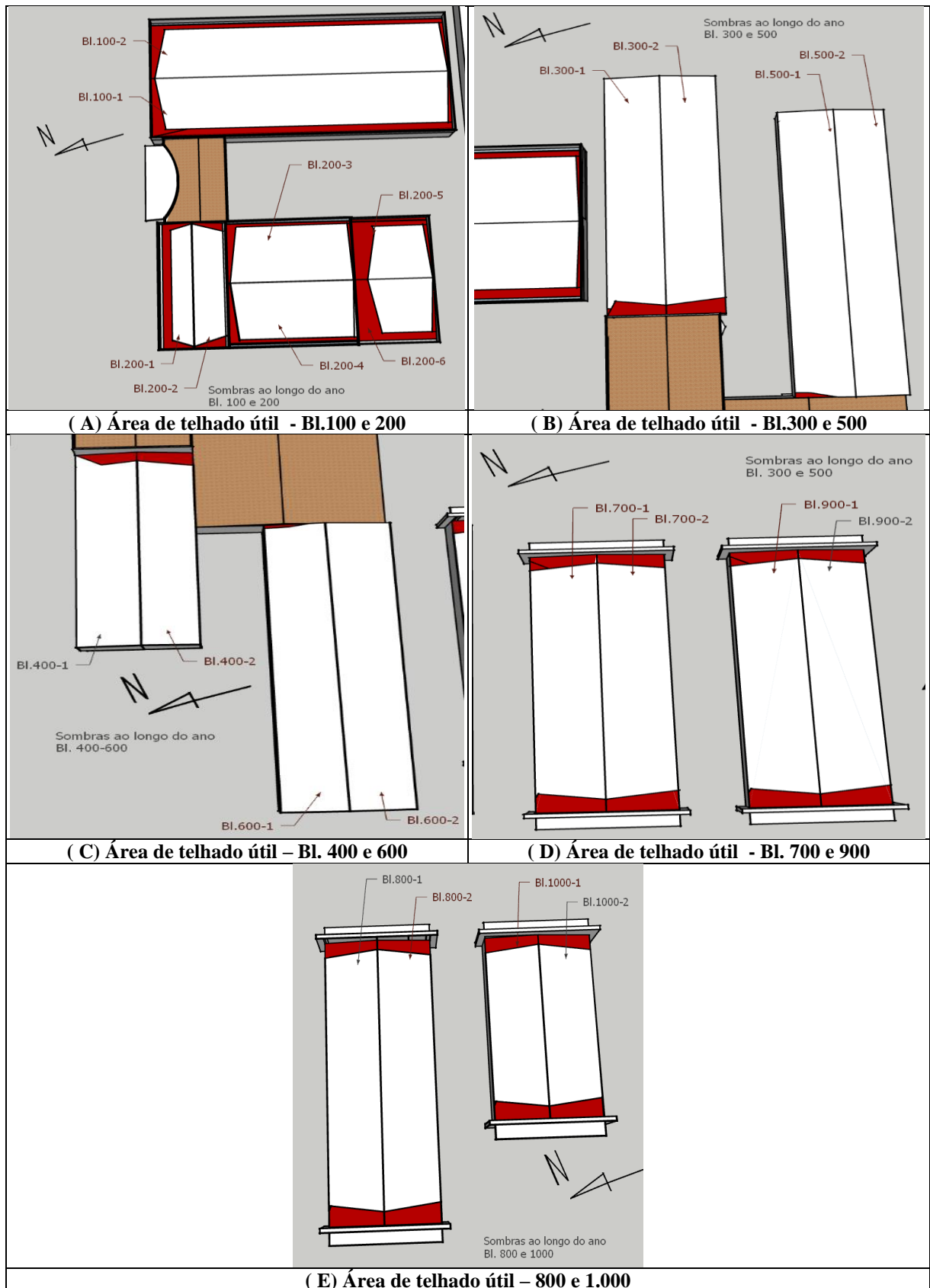


Figura 5.10 - Representação gráfica das áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 100, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 e 1.000 do Câmpus Inhuma

A simulação das configurações n° 01 e n° 02 para todos os telhados expõe que na configuração n° 01 com 1324 painéis podem ser gerados diariamente 297,42 kWp - 1642,33 kWh e na configuração n° 02 com .492 painéis podem ser gerados 335,16 kWp - 1854,20 kWh. As Tabela 5.28 e Tabela 5.29 trazem a quantidade de energia elétrica pode ser gerada por telhado.

Tabela 5.28 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Inhumas nas configurações n° 01 e n° 02 nos blocos 100, 300, 400 e 500

Telhado	Bloco 100		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01								
n° de painéis	156	156	70	70	52	52	76	76
produção diária/ painel (kWh)	1,21	1,27	1,17	1,31	1,17	1,31	1,17	1,31
produção diária/ telhado (kWh)	189,35	198,11	81,62	91,97	60,64	68,32	88,62	99,86
Configuração n° 02								
n° de painéis	138	138	84	84	64	64	92	92
produção diária/ painel (kWh)	1,22	1,27	1,17	1,32	1,17	1,32	1,17	1,32
produção diária/ telhado (kWh)	167,83	175,60	98,14	110,59	74,77	84,26	107,49	121,12

Tabela 5.29 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Inhumas nas configurações n° 01 e n° 02 nos blocos 600, 700, 800, 900 e 1000

Telhado	Bloco 600		Bloco 700		Bloco 800		Bloco 900		Bloco 1000	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01										
n° de painéis	76	76	64	64	64	64	64	64	40	40
produção diária/ painel (kWh)	1,17	1,31	1,17	1,31	1,17	1,31	1,17	1,31	1,17	1,31
produção diária/ telhado (kWh)	88,62	99,86	74,63	84,09	74,63	84,09	74,63	84,09	46,64	52,56
Configuração n° 02										
n° de painéis	92	92	76	76	76	76	76	76	48	48
produção diária/ painel (kWh)	1,17	1,32	1,17	1,32	1,17	1,32	1,17	1,32	1,17	1,32
produção diária/ telhado (kWh)	107,49	121,12	88,79	100,05	88,79	100,05	88,79	100,05	56,08	63,19

As totalizações dos resultados obtidos na quantidade de painéis apontam que na configuração n° 02 os telhados comportam 12,68% mais painéis que na configuração n° 01.

5.6.2 Consumo de energia elétrica

Os dados apresentados no Gráfico 5.5 expressam os valores e a representação gráfica do consumo de energia do Campus Inhumas no período de janeiro/2015 a agosto/2017. A média no período registrado é de 14418,18 kWh/mês ou o equivalente a 480,60 kWh/dia. A instituição tem 90 kW contratados de demanda com a concessionária de energia.

As afirmações do item 5.6.1 expõem que a capacidade de geração fotovoltaica dos telhados do Campus Inhumas é suficiente para atender a 3,42 vezes a necessidade diária da instituição na configuração n° 01 e 3,86 vezes na configuração n° 02. O resumo das simulações realizadas no campus está representado na Tabela 5.30.

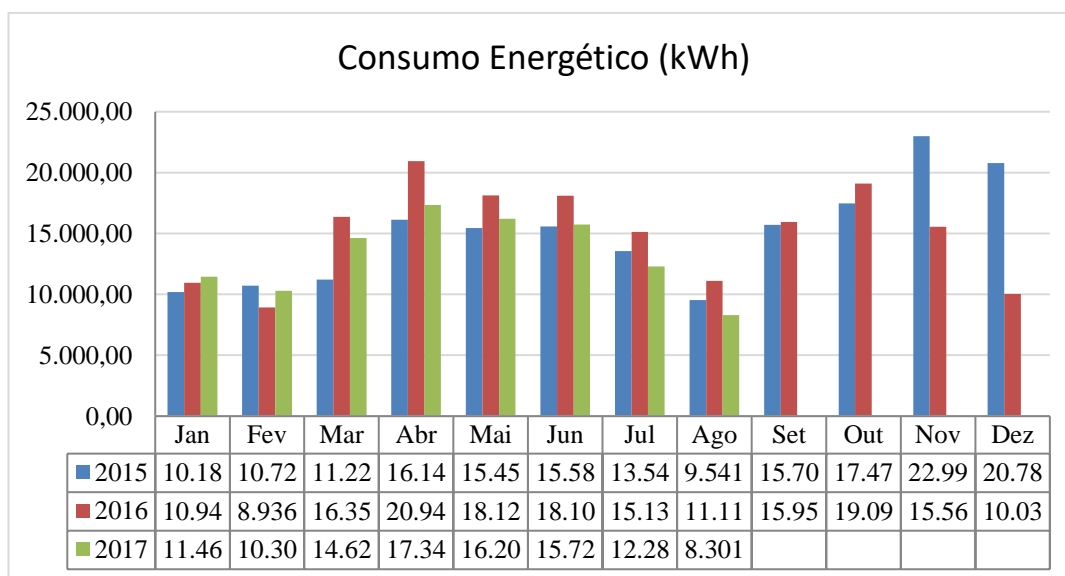


Gráfico 5.5 - Consumo de energia Campus Inhumas (CELG,2017)

Tabela 5.30 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Inhumas

<i>Configuração</i>	<i>Painéis (un)</i>	<i>Potência (kWp)</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Relação Produção versus Consumo</i>
1	1.324	297,42	1.642,23	3,42
2	1.492	335,16	1.854,20	3,86
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	4,91			
Consumo (kWh/dia)	480,60			
Demanda contratada (kW)	90,00			

O Campus Inhumas tem capacidade, pela instalação de geradores fotovoltaicos, de atender suas necessidades energéticas e ainda injetar o excedente na rede da concessionária.

5.7 CAMPUS ITUMBIARA

5.7.1 Caracterização do Câmpus Itumbiara

Localizado a latitude de $18^{\circ}26'06,85''\text{S}$ e longitude de $49^{\circ}12'46,87''\text{W}$, o Campus Itumbiara é composto por um bloco destinado ao serviço e a administração e pelos blocos 200, 300, 400, 500 e 600, todos com a finalidade de receber aulas técnicas e teóricas e os laboratórios. A disposição dos prédios é apresentada na Figura 5.11.

Os dados necessários à realização da pesquisa foram retirados dos projetos arquitetônicos e estão dispostos na Tabela 5.31.

5.7.2 Estudos de sombreamento

As imagens das simulações de sombreamento incidentes sobre o Campus Itumbiara nos solstícios de inverno e verão estão apresentadas nos Anexo R, Anexo S, Anexo T, Anexo U e Anexo V. A Figura 5.12 aponta a representação gráfica das áreas úteis de telhado, na cor branca, para a instalação de painéis fotovoltaicos. As áreas úteis não têm incidência de sombras ao longo do ano.

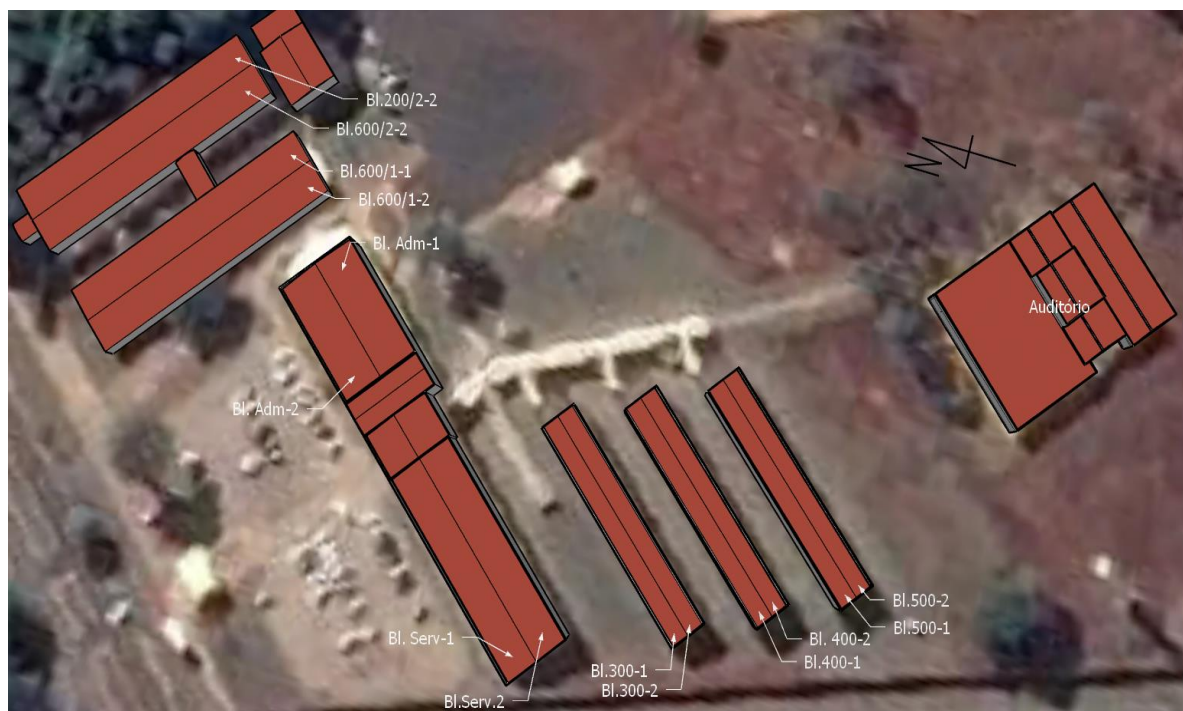


Figura 5.11 - Disposição dos prédios Campus Itumbiara

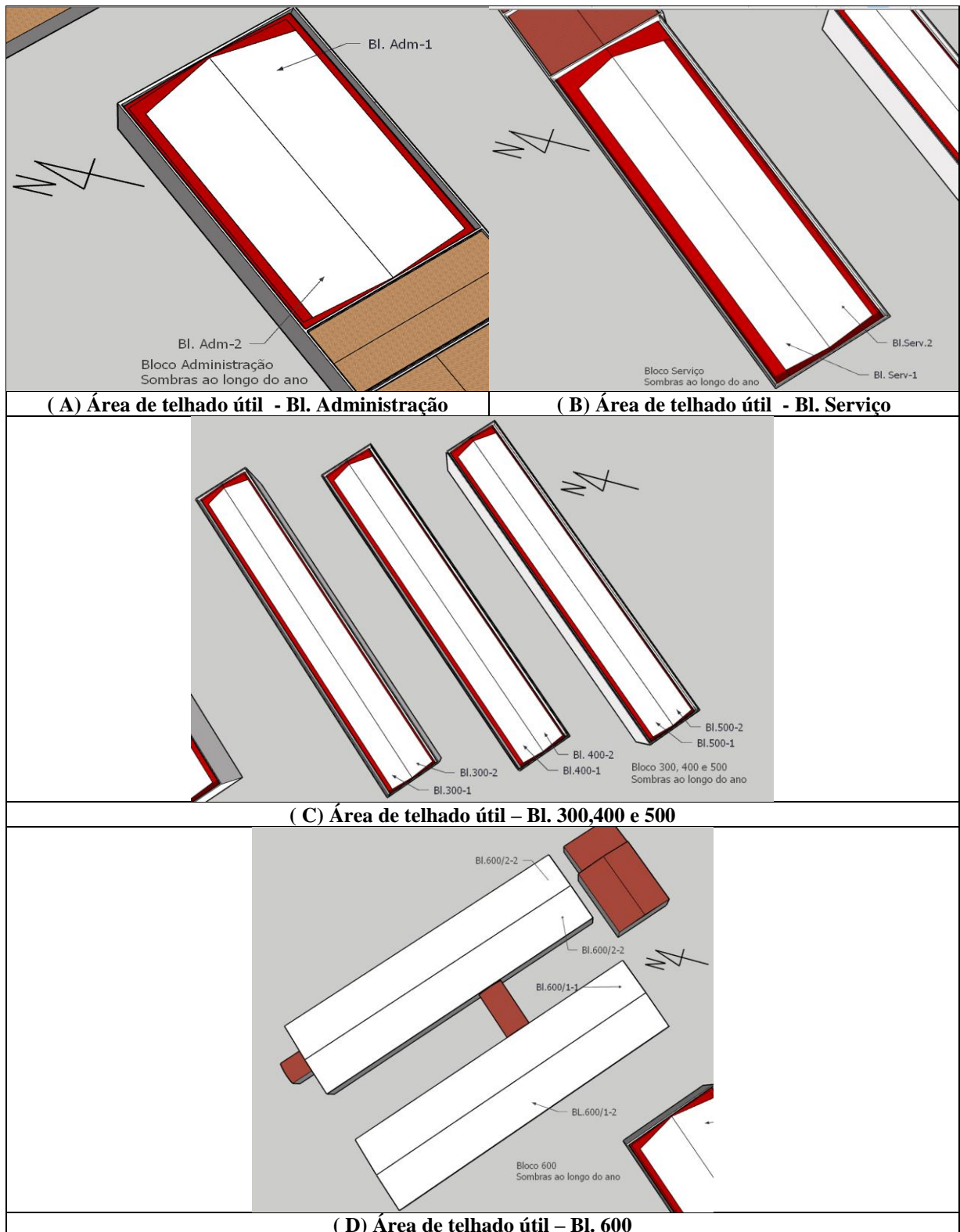


Figura 5.12 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 100, 200, 300, 400, 500, 600/1 e 600/2 do Câmpus Itumbiara

Tabela 5.31 - Dados dos telhados dos Bl. 100, 200, 300, 400, 500, 600/1 e 600/2 do Câmpus IFG Itumbiara

Telhado	Bloco 100		Bloco 200		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500		Bloco 600/1		Bloco 600/2	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ângulo de inclinação do telhado (°)	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74
orientação geográfica	oeste	leste	oeste	leste	oeste	leste	oeste	leste	oeste	leste	sul	norte	sul	norte
ângulo azimutal (°)	-130,4	49,6	-130,4	49,6	-130,4	49,6	-130,4	49,6	-130,4	49,6	139,75	-40,25	139,75	-40,25

As áreas de cobertura dos telhados selecionados na pesquisa totalizam 4068,05 m² e após os estudos de sombreamento foram reduzidas ao valor de 3697,80 m², estabelecendo uma diminuição de 21,92% da área inicialmente estimada como disponível para a instalação de painéis fotovoltaicos.

5.7.3 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Itumbiara

O programa Radasol 2 não possui em seu banco de dados a cidade de Itumbiara, então a cidade de Campinópolis-MG, distante 41,95 km de Itumbiara, é usada como referência para a pesquisa. As Tabela 5.32 e Tabela 5.33 apresentam as irradiações solares incidente e os dados dos telhados do Campus Itumbiara informados ao programa Radasol 2.

5.7.4 Potencial de geração fotovoltaica do Campus Itumbiara

Com as informações contidas nas Tabela 5.34 e 5.35, que mostram os resultados das simulações de montagem de painéis fotovoltaicos, é possível calcular que na configuração n° 01 com 1478 painéis a produção energética é de 332,01 kWp - 1.754,33 kWh e na configuração n° 02, com 1.234 painéis a produção é de 277,20 - 1.468,45 kWh.

Tabela 5.32 - Irradiação solar incidente sobre os blocos 100, 200 e 300 do Campus Itumbiara

Telhado	Bloco 100		Bloco 200		Bloco 300	
	1	2	1	2	1	2
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	3,45	5,13	3,45	5,13	3,45	5,13

Tabela 5.33 - Irradiação solar incidente sobre os blocos 400, 500 e 600 do Campus Itumbiara

Telhado	Bloco 400	Bloco 500	Bloco 600/1		Bloco 600/2	
	2	2	1	2	1	2
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	5,13	5,13	4,89	5,07	4,89	5,07

Tabela 5.34 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Itumbiara nas configurações 1 e 2 nos blocos 100, 200 e 300

Telhado	Bloco 100		Bloco 200		Bloco 300	
	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01 - Transversal						
n° de painéis	96	96	126	126	92	92
produção diária/ painel (kWh)	0,87	1,29	0,87	1,29	0,87	1,29
produção diária/ telhado (kWh)	83,53	124,28	109,64	163,12	80,05	119,10
Configuração n° 02- Longitudinal						
n° de painéis	95	95	104	104	56	56
produção diária/ painel (kWh)	0,87	1,30	0,87	1,30	0,87	1,30
produção diária/ telhado (kWh)	82,82	123,22	90,67	134,90	48,82	72,64

Tabela 5.35 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Itumbiara nas configurações 1 e 2 nos blocos 400, 500, 600/1 e 600/2

Telhado	Bloco 400	Bloco 500	Bloco 600/1		Bloco 600/2	
	2	2	1	2	1	2
Configuração n° 01 - Transversal						
n° de painéis	92	92	165	165	168	168
produção diária/ painel (kWh)	1,29	1,29	1,23	1,28	1,23	1,28
produção diária/ telhado (kWh)	119,10	119,10	203,47	210,97	207,17	214,80
Configuração n° 02- Longitudinal						
n° de painéis	56	56	136	136	170	170
produção diária/ painel (kWh)	1,30	1,30	1,24	1,28	1,24	1,28
produção diária/ telhado (kWh)	72,64	72,64	168,04	174,23	210,05	217,79

5.7.5 Consumo de energia elétrica

O Campus Itumbiara possui vários prédios e o consumo energético médio mensal registrado no período de janeiro/2015 a agosto/2017 é de 22483,24 kWh/mês, ou

749,44 kWh/dia. O Gráfico 5.6 mostra os registros de consumo da instituição de ensino. A demanda contratada para a instituição com a concessionária de energia é de 250kW.

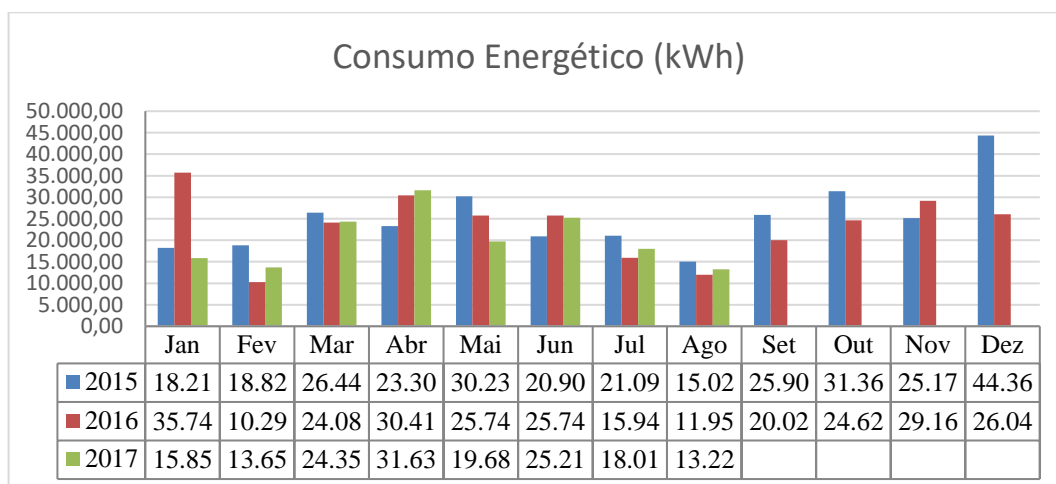


Gráfico 5.6 - Consumo de energia Campus Itumbiara (CELG, 2017)

O resumo das informações da capacidade de geração fotovoltaica do campus está apresentado na Tabela 5.36 e os dados de produção de energia elétrica apontam que na configuração n° 02, que comporta o menor número de painéis, são gerados 1468,45 kWh/dia, este valor equivale a 1,96 vezes a necessidade energética do campus e na configuração n° 01 com 1.754,33 kWh/dia, a equivalência de geração diária sobre para 2,34 vezes.

A implantação do sistema de geração fotovoltaica nos telhados do Campus Itumbiara nas configurações n° 01 ou n° 02 permite ao sistema de geração fotovoltaico proposto atender ao consumo diário da instituição, bem como injetar na rede da concessionária de energia.

Tabela 5.36 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Itumbiara

<i>Configuração</i>	<i>Painéis (un)</i>	<i>Potência (kWp)</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Relação Produção versus Consumo</i>
1	1.478	332,01	1.754,33	2,34
2	1.234	277,20	1.468,45	1,96
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	4,98			
Consumo (kWh/dia)	749,44			
Demanda contratada (kW)	250,00			

5.8 CAMPUS JATAÍ

5.8.1 Caracterização do Campus Jataí

Localizado na região do sudoeste goiano, o Campus Jataí está instalado nas coordenadas 17°52'18,88"S e 51°44'06,84"W e tem em sua área seis prédios destinados ao ensino e ao aprendizado tecnológico. Os blocos são apresentados na Figura 5.13 e estão assim dispostos: Bloco 100 – administração, Bloco 200 – Biblioteca, Bloco 400 – núcleo pedagógico e salas de aula, Bloco 500, Bloco 600 – Sala de aula e Refeitório.

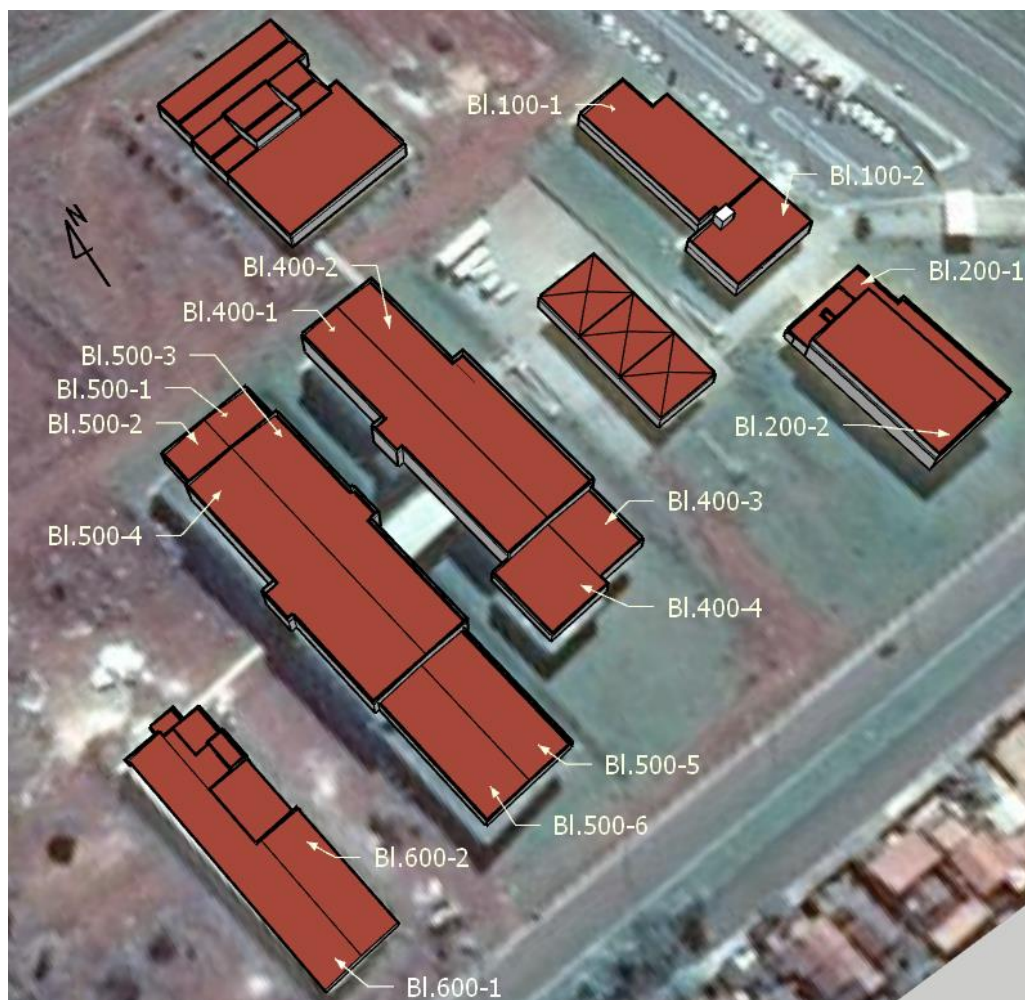


Figura 5.13 - Disposição dos prédios Campus Jataí

Foram selecionados para a pesquisa os telhados 100-1 e 2, 200-2, 400-1, 2, 3 e 4, 500-1, 2, 3 e 4, e 600-1 e 2, que juntos totalizam 4.736,26 m² de área de cobertura. A Tabela 5.37 apresenta os principais dados dos telhados selecionados.

Tabela 5.37 - Dados dos telhados do Câmpus Jataí_ Blocos 100, 200, 400, 500 e 600

Prédio	Bloco 100		Bloco 200	Bloco 400		Bloco 500				Bloco 600	
	1	2	1	1	2	3	4	5	6	1	2
Identificação											
ângulo de inclinação do telhado (°)	7,47	7,47	5,74	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	5,74	5,74
orientação geográfica	oeste	leste	leste	leste	oeste	leste	oeste	leste	oeste	leste	oeste
angulo azimutal (°)	-80,4	99,1	99,1	99,1	-80,9	99,1	-80,9	99,1	-80,9	99,1	-80,9

5.8.2 Estudo de sombreamento

Nos prédios que compõem o campus são realizadas as simulações de sombreamento solar no programa SketchUp, nos solstícios de inverno e verão às 9h, 12h e 15h. A Figura 5.14 mostra as representações gráficas das áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos no Campus Jataí e no Anexo W, Anexo X e Anexo Y estão as figuras resultantes dos estudos de sombreamento.

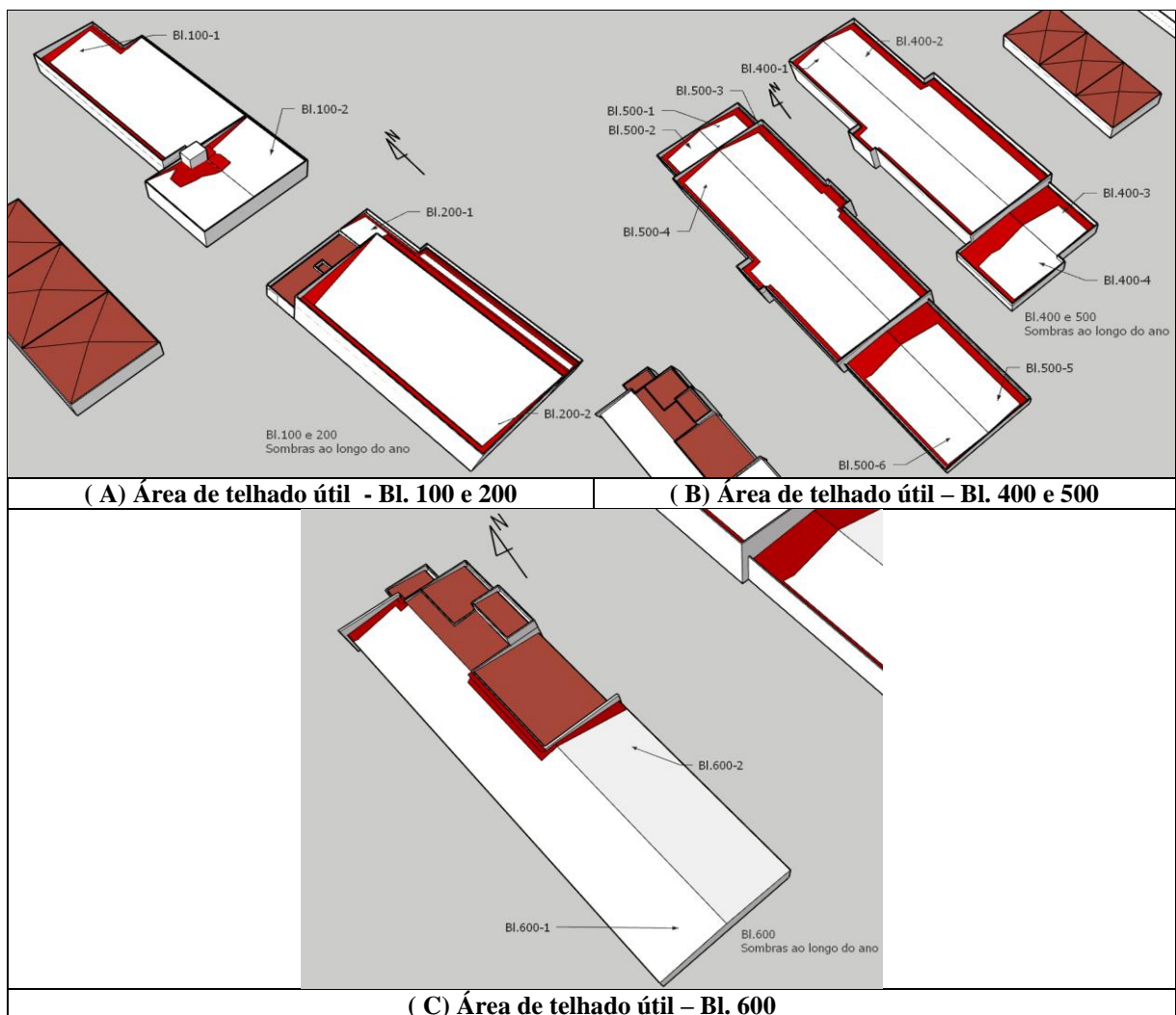


Figura 5.14 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 100, 200, 400, 500 e 600 do Câmpus Jataí

Para a instalação de painéis fotovoltaicos, o Campus Jataí oferece 4736,29 m² de área de telhado útil apurada após a realização do estudo de sombreamento. Esse valor representa uma redução de 9,64% da área de cobertura dos telhados avaliados.

5.8.3 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Jataí

As informações de irradiação solar obtidas pelo programa Radiasol 2 têm por referência a cidade de Rio Verde, distante 90,4 km do município de Jataí. A Tabela 5.38 mostra as irradiações solares recebidas pelos telhados do Campus Jataí durante todo o ano.

5.8.4 Potencial de geração fotovoltaica do Campus Jataí

As informações de irradiação solar incidente na região onde está localizado o campus indica uma boa capacidade de geração, e após a realização dos estudos de sombreamento para identificação das áreas de telhado que são inapropriadas para receber os painéis fotovoltaicos foram executadas as simulações de montagem de painéis na configuração n° 01- transversal e na configuração n° 02– longitudinal.

Na configuração n° 01 os telhados do campus comportam 1.316 painéis com potencial de geração de 295,62 kWp - 1653,06 kWh/dia e na configuração n° 02 comportam 1279 painéis gerando 287,31 kWp - 1606,13 kWh/dia. A quantidade de painéis que o Campus Jataí comporta receber, por telhado, na configuração transversal e na longitudinal, é disposta na Tabela 5.39.

A diferença do potencial de geração fotovoltaico na configuração n° 01 em relação à configuração n° 02 é de apenas 2,92%.

Tabela 5.38 - Irradiação solar média anual sobre os blocos do Campus Jataí

<i>Prédio</i>	<i>Bloco 100</i>		<i>Bloco 200</i>	<i>Bloco 400</i>		<i>Bloco 500</i>				<i>Bloco 600</i>	
	1	2	1	1	2	3	4	5	6	1	2
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	5,01	4,95	4,96	4,96	5,01	4,96	5,01	4,96	5,01	4,96	5,01

5.8.5 Consumo de energia elétrica

O Campus Jataí tem demanda contratada de 60 kW e registrou consumo de energia mensal médio de 15.057,10 kWh, 18.385,07 kWh e 18.339,72 kWh nos anos de 2015, 2016 e

até agosto de 2017, respectivamente, conforme os dados contidos no Gráfico 5.7. A leitura destas informações revela a estabilização do consumo nos últimos dois anos.

Considerando que o campus necessita receber energia elétrica para atender suas atividades e que a média do consumo no período informado pela concessionária de energia é de 17260,63 kWh/mês ou o equivalente a 573,35 kWh/dia, pode-se afirmar que diante dos resultados apresentados na Tabela 5.40 e que foram obtidos nas simulações, que o empreendimento tem condições de gerar energia por meio da instalação de painéis fotovoltaicos, na configuração nº 01 de 2,88 vezes sua necessidade diária e na configuração nº 02 essa equivalência cai para 2,78 vezes.

Tabela 5.39 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Jataí nas configurações nº 01 e nº 02

Telhado	Bloco 100		Bloco 200	Bloco 400		Bloco 500				Bloco 600	
	1	2	1	1	2	3	4	5	6	1	2
Configuração nº 01 - 1.316 painéis / 295,62 kWp - 1.653,06 kWh/dia											
nº de painéis	92	180	180	199	174	100	150	48	48	73	72
produção diária/ painel (kWh)	1,26	1,25	1,25	1,25	1,26	1,25	1,26	1,25	1,26	1,25	1,26
produção diária/ telhado (kWh)	116,28	224,88	225,41	248,91	219,88	125,08	189,55	60,04	60,66	91,42	90,95
Configuração nº 02 - 1.279 painéis / 287,31 kWp - 1.606,13 kWh/dia											
nº de painéis	88	186	180	190	136	124	155	30	30	104	56
produção diária/ painel (kWh)	1,27	1,25	1,25	1,25	1,26	1,25	1,26	1,25	1,26	1,25	1,26
produção diária/ telhado (kWh)	111,44	232,38	225,41	237,66	171,86	155,10	195,87	37,52	37,91	130,24	70,74

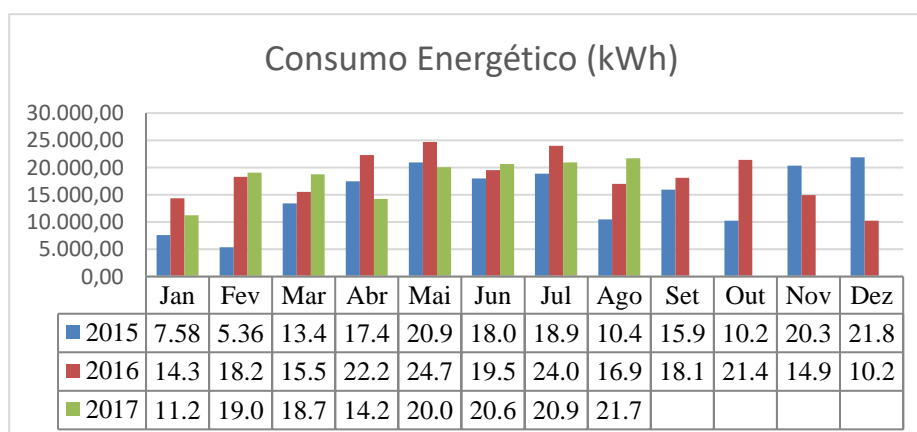


Gráfico 5.7 - Consumo de energia Campus Jataí (CELG,2017)

Tabela 5.40 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Jataí

<i>Configuração</i>	<i>Painéis (un)</i>	<i>Potência (kWp)</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Relação Produção versus Consumo</i>
1	1.316	295,62	1.653,06	2,88
2	1.279	287,31	1.606,13	2,78
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	4,98			
Consumo (kWh/dia)	573,35			
Demanda contratada (kW)	60,00			

A instalação de painel solar nos telhados dos prédios do Câmpus Jataí, em qualquer uma das configurações de montagens de painéis, pode tornar o câmpus autossuficiente energeticamente.

5.9 CAMPUS LUZIÂNIA DO IFG

5.9.1 Caracterização do Câmpus Luziânia

Localizado bem próximo à cidade de Brasília, o Câmpus Luziânia possui estrutura bem definida quanto à disposição dos prédios e comporta os Blocos 200 – administração, Bloco 300 – núcleo pedagógico e laboratórios, bloco 400 – laboratórios e salas teóricas, bloco 500 – salas de aula, bloco 600 – hall de entrada, bloco 800 – refeitório, bloco 1.000 - auditório e quadra coberta.

A disposição dos prédios dentro da área do Câmpus Luziânia está na Figura 5.15, georreferenciada.

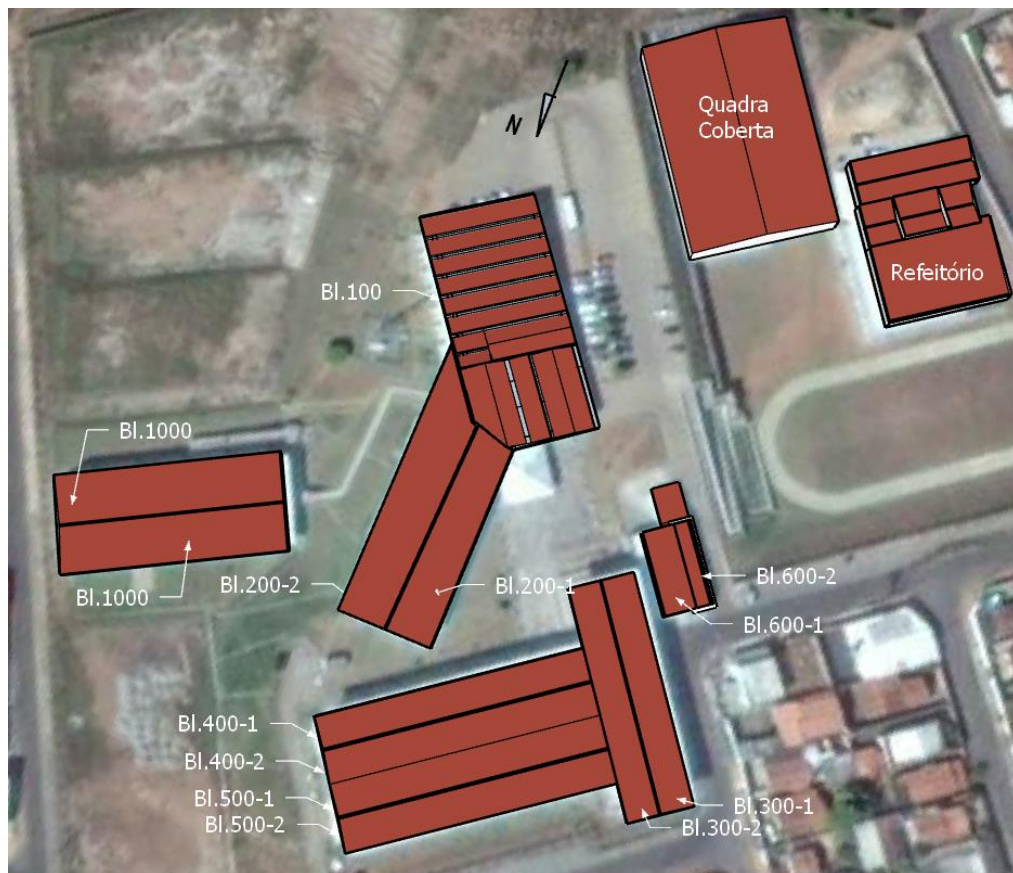
Nesta pesquisa, são considerados como adequados para receber painéis fotovoltaicos os telhados dos blocos 200, 300, 400 e 500 e sobre eles são realizadas as simulações de configurações de montagem 01 e 02. A Tabela 5.41 mostra os dados dos telhados que são avaliados.

5.9.2 Estudo de sombreamento

O software SketchUp realiza as simulações do sombreamento solar nos telhados dos prédios durante os solstícios de inverno e verão nos horários de 9h, 12h e 15h. A Figura 5.16 mostra as representações gráficas resultantes das simulações.

Tabela 5.41 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Luziânia

Telhado	Bloco 200		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500	
	1	2	1	2	1	2	1	2
altura da inclinação (m)	1,03	1,03	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91
ângulo de inclinação do telhado (°)	5,74	5,74	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89
orientação geográfica	oeste	leste	leste	oeste	sul	norte	sul	norte
ângulo azimutal (°)	-90,97	89,03	125,7	-54,3	-144,1	35,7	-144,1	35,7

**Figura 5.15 - Disposição dos prédios Campus Luziânia**

A somatória das áreas de cobertura nos telhados selecionados é equivalente a $3.884,94\text{m}^2$, os estudos de sombreamento apontam como resultado $3644,37\text{m}^2$ de área útil para a geração de energia solar fotovoltaica.

Todas as representações gráficas obtidas nas simulações de sombreamento realizadas no Campus Luziânia são apresentadas nos Anexo Z, Anexo AA e Anexo BB.

5.9.3 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Luziânia

O programa Radasol 2 necessitou utilizar a cidade de Brasília, distante 59,7km da cidade de Luziânia, como referência. A Tabela 5.42 apresenta o ângulo de azimute, a inclinação do painel sobre o telhado e a irradiação solar média anual informada pelo programa para cada um dos telhados pesquisados.

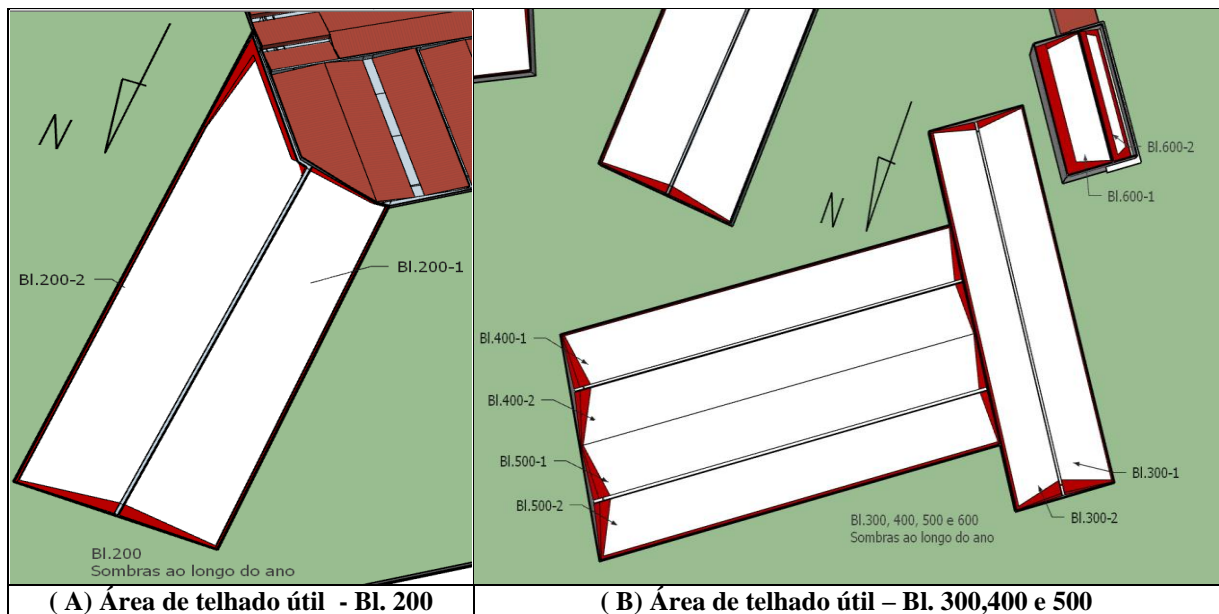


Figura 5.16 - Representação gráfica das áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Bl. 200, 300, 400 e 500 do Campus Luziânia

Tabela 5.42 - Irradiação solar média incidente sobre o Campus Luziânia

Telhado	Bloco 200		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	5,34	5,34	5,26	5,41	5,22	5,45	5,22	5,45

5.9.4 Potencial de geração de energia elétrica

A avaliação do potencial de geração fotovoltaica do Campus Luziânia é resultado da somatória do que cada painel pode produzir e a quantidade de geração do painel é dada pela aplicação da expressão 3.3. A Irradiação solar aplicada na expressão é a média anual informada pelo Programa Radasol 2.

A Tabela 5.43 apresenta os potenciais de geração por telhado e por painel nas configurações n° 01 e n° 02.

A totalização do potencial de geração por telhado na configuração n° 01 é 314,94 kWp - 1880,00 kWh com 1402 painéis e na configuração n° 02 é de 266,42 kWp - 1597,15 kWh

com 1186 painéis, a diferença entre configurações é de 216 painéis, representando 17,70% na quantidade de energia gerada.

5.9.5 Consumo de energia elétrica

O Campus Luziânia registra um consumo de energia elétrica estável durante o período de janeiro/2015 a agosto/2017. Os dados de consumo registrados pela concessionária constam no Gráfico 5.8, e apontam para um consumo médio diário de 435,65 kWh. A demanda contratada para o Campus Luziânia é de 110 kW.

Tabela 5.43 - Potencial de Produção Energética do Campus Luziânia

Telhado	Bloco 200		Bloco 300		Bloco 400		Bloco 500	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01 – 1.402 painéis / 314,94 kWp - 1.880,00 kWh								
n° de painéis	174	202	153	153	180	180	180	180
produção diária/ painel (kWh)	1,34	1,34	1,31	1,37	1,30	1,38	1,30	1,38
produção diária/ telhado (kWh)	233,38	271,19	200,71	210,17	234,35	248,92	234,35	248,92
Configuração n° 02 – 1.186 / 266,42 kWp - 1.597,15 kWh								
n° de painéis	160	186	124	124	148	148	148	148
produção diária/ painel (kWh)	1,34	1,34	1,31	1,37	1,30	1,38	1,30	1,30
produção diária/ telhado (kWh)	214,60	249,71	162,67	170,33	192,69	204,67	192,69	192,69

O potencial de produção energética do Campus Luziânia, apresentado na Tabela 5.43, é suficiente para atender à necessidade energética da instituição, na configuração 02, o equivalente a 366%, na configuração n° 01 este percentual seria alterado para 431%. Estes valores são tão significantes que apenas a geração resultante da montagem dos painéis sobre os telhados do bloco 200, na configuração n° 01 ou n° 02, atende a toda a demanda de energia do campus.

As simulações de configurações de montagem realizadas no campus Luziânia demonstram que a capacidade de geração fotovoltaica pela instalação de painéis nas áreas úteis de telhado é suficiente para atender ao consumo de energia e promover a injeção de energia na rede da concessionária

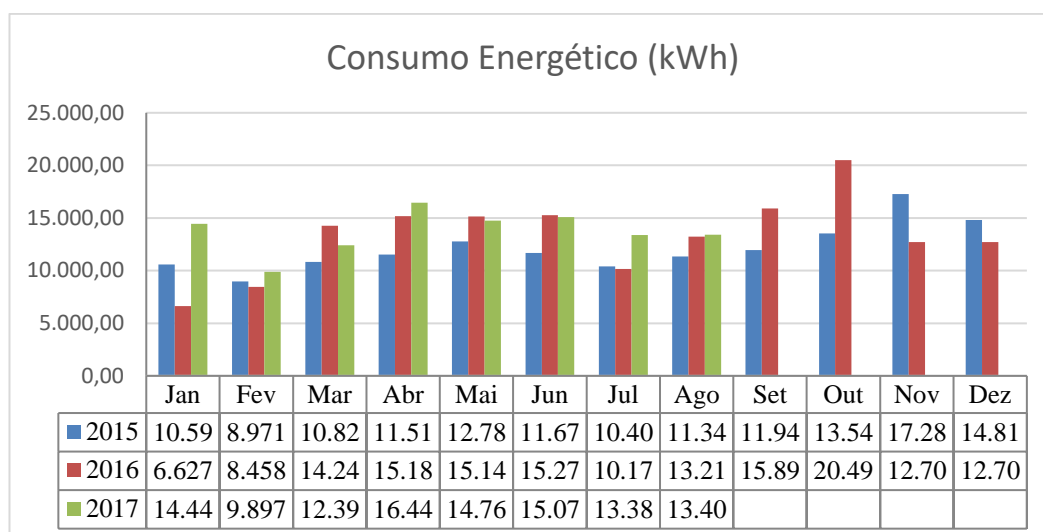


Gráfico 5.8 - Consumo de energia Campus Luziânia (CELG, 2017)

Tabela 5.44 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Campus Luziânia

<i>Configuração</i>	<i>Painéis (un)</i>	<i>Potência (kWp)</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Relação Produção versus Consumo</i>
1	1.402	314,94	1.880,00	4,32
2	1.186	266,42	1.597,15	3,67
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	5,34			
Consumo (kWh/dia)	435,65			
Demanda contratada (kW)	110,00			

5.10 CAMPUS URUAÇU

5.10.1 Caracterização do Câmpus Uruaçu

O Campus Uruaçu está localizado na latitude de 14°30'34,72"S e longitude 49° 08'37,04"W é formado por três prédios, sendo divididos em bloco 100/200 utilizado para receber a biblioteca, bloco 300 onde estão alojadas as salas de aula, laboratórios e núcleo pedagógico e bloco 400 que também recebe as salas de aula. À esquerda do bloco 100/200 há um pequeno anexo, destinado ao transporte.

A somatória de cobertura de telhado do campus que seja útil para a instalação de painéis fotovoltaicos é de 2326,86 m². Em comparação com outras unidades de ensino, esse valor pode ser considerado baixo, porém suficiente para o desenvolvimento da pesquisa. São inseridos na pesquisa o bloco 100, 200, 300 e 400.

A Figura 5.17 apresenta a distribuição e a identificação dos prédios com o terreno na posição georreferenciada.

Os projetos arquitetônicos trazem a informação que o bloco 300 (central) possui cinco pavimentos e acima disso, casa de máquinas. A cobertura do prédio é montada em níveis distintos sendo: nível 1-telhados 300-5 e 300-6, nível 2-telhados 300-3 e 300-4, nível 3-telhados 300-1 e 300-2 e nível 4-casa de máquinas e reservatório. O número de telhados e o desnível entre eles pode prejudicar a geração fotovoltaica. A Tabela 5.45 mostra os principais dados dos telhados dos prédios do campus Uruaçu.

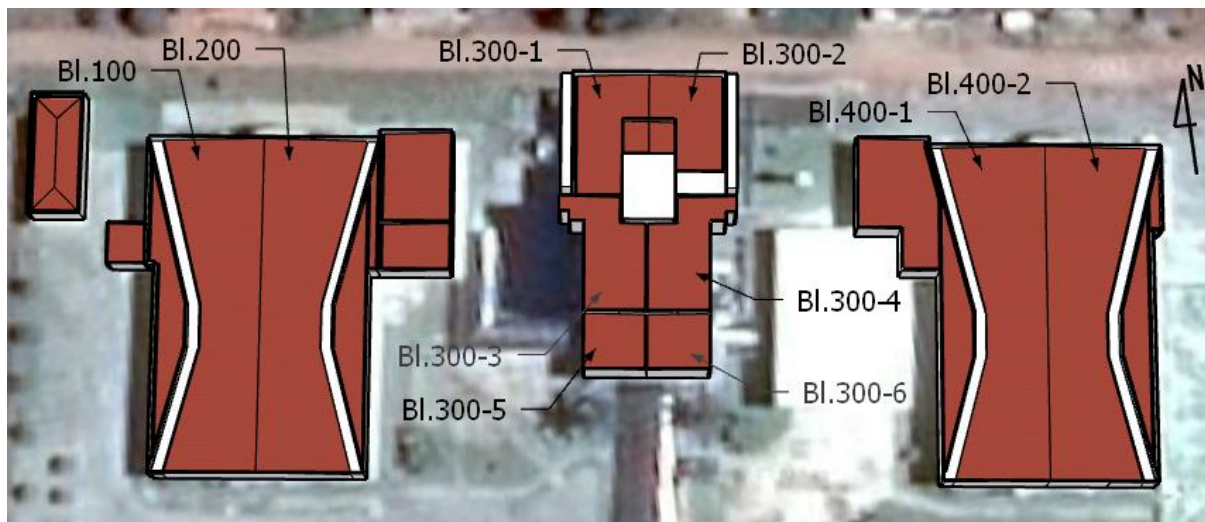


Figura 5.17 - Disposição dos telhados do Campus Uruaçu

5.10.2 Estudo de sombreamento

Os estudos de sombreamento incidente sobre os prédios são realizados durante os solstícios de inverno e verão nos horários de 09h, 12h e 17h e estão apresentados nos Anexo CC, Anexo DD e Anexo EE.

A Figura 5.18 mostra a representação gráfica de sombras sobre os telhados dos blocos analisados, na cor branca são as áreas úteis sobre os prédios para a instalação de painéis fotovoltaicos.

A Figura 5.18 (C) mostra a área útil para a instalação de painéis fotovoltaicos, em branco, sobre o bloco 300 e em vermelho as áreas de sombras. Pode-se verificar que a área de sombras é impactante sobre os telhados 300-1, 2, 3 e 4, podendo também ser considerada significativa sobre os telhados 300-4 e 6. Devido à pequena quantidade de área útil demonstrada nos estudos de sombreamento, o bloco 300 será retirado das simulações de configuração de montagem de painéis.

A área de telhado útil para a instalação de painéis fotovoltaicos, após o estudo de sombreamento, é de 1434,75 m², uma redução de 38,34% na área de cobertura.

5.10.3 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Uruaçu

A continuidade da pesquisa exige conhecer a irradiação solar incidente sobre os telhados, em função do ângulo azimutal do telhado e da inclinação do painel. Essas informações são obtidas com o programa Radiasol 2. Em sua base de dados não há a cidade de Uruaçu, por este motivo aplicou-se a cidade de Brasília-DF, distante 186 km, como cidade referência. A Tabela 5.46 mostra os valores de irradiação solar incidente e os dados dos telhados pesquisados.

Tabela 5.45 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Uruaçu

Telhado	Bloco 100/ 200		Bloco 300						Bloco 400	
	1	2	1	2	3	4	5	6	1	2
altura da inclinação (m)	1,25	1,25	0,89	0,90	0,74	0,74	0,76	0,76	1,13	1,13
ângulo de inclinação do telhado (°)	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74
orientação geográfica	leste	oeste	leste	oeste	leste	oeste	leste	oeste	leste	oeste
ângulo azimutal (°)	83,5	-96,5	83,5	-96,5	83,5	-96,5	83,5	-96,5	83,5	-96,5

Tabela 5.46 - Irradiação solar incidente sobre os blocos 100, 200 e 300 do Campus Uruaçu

Telhado	Bloco 100/200		Bloco 400	
	1	2	1	2
Ângulo de inclinação do painel (°)	5,74	5,74	5,74	5,74
Ângulo azimutal (°)	83,5	-96,5	83,5	-96,5
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	5,36	5,33	5,36	5,33

5.10.1 Potencial de geração de energia elétrica

O potencial de geração de energia elétrica que pode ser ofertado pela instalação de painéis fotovoltaicos sobre os telhados do Campus Uruaçu é prejudicado pela redução das áreas de telhado, devido à exposição a sombreamento durante os solstícios de inverno e verão.

As simulações de configurações de montagem de painéis n° 01 e n° 02 foram realizadas nos telhados dos blocos 100/200 e 400 e os resultados apresentado na Tabela 5.47 mostram que a configuração n° 01 comporta 276 painéis, gerando diariamente 62,00 kWp –

372,11 kWh e a configuração n° 02 comporta 270 painéis com geração diária de 60,65 kWp – 364,03 kWh.

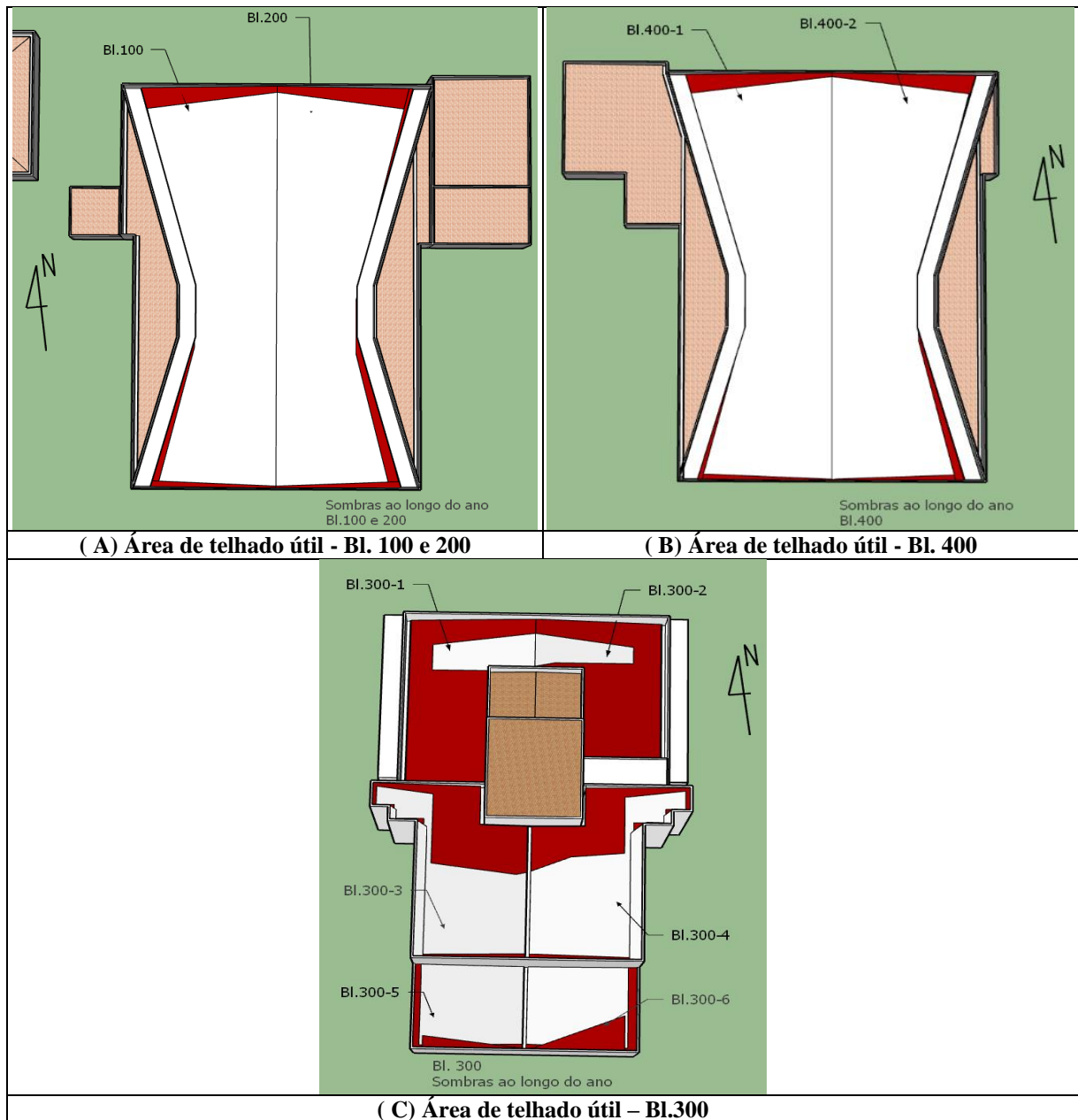


Figura 5.18 - Representação gráfica da áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos 100, 200, 300 e 400

5.10.2 Consumo de energia elétrica

Para o Campus Uruaçu não houve o envio dos dados referentes a consumo no período de janeiro/2015 a setembro/2015, mesmo com o campus se encontrando em pleno funcionamento. Esse fato não se mostra relevante ao ponto de prejudicar a pesquisa, pois foi possível obter os registros do ano de 2016.

Tabela 5.47 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Uruaçu nas configurações n° 01 e n° 02

Telhado	Bloco 100/200		Bloco 400	
	1	2	1	2
Configuração n° 01 – 276 painéis / 62,00 kWp – 372,11 kWh				
n° de painéis	82	82	56	56
produção diária/ painel (kWh)	1,35	1,34	1,35	1,35
produção diária/ telhado (kWh)	110,83	110,23	75,69	75,37
Configuração n° 02- 270 painéis / 60,65 kWp – 364,03 kWh				
n° de painéis	75	75	60	60
produção diária/ painel (kWh)	1,35	1,34	1,35	1,35
produção diária/ telhado (kWh)	101,37	100,82	81,09	80,75

Os valores de consumo, 2016, estão apresentados no Gráfico 5.9 e a compilação dos valores mostra que nesse ano a instituição registrou média de consumo mensal de 24.674,01 kWh, equivalente a 822,46 kWh/dia. A demanda contratada é de 180 kW.

Os dados contidos na Tabela 5.48 expressam um resumo do potencial de produção energética do Campus Uruaçu, que na configuração n° 01 gera diariamente 372,11 kWh e na configuração n° 02 a geração é de 364,03kWh.

A confrontação do potencial de produção do campus com o consumo médio diário, em 2016, de 822,46 kWh/dia aponta que a instalação de painéis fotovoltaicos nas áreas úteis de telhado do campus Uruaçu não atende a sua necessidade energética e o fornecimento da concessionária de energia é essencial para a manutenção das atividades do campus.

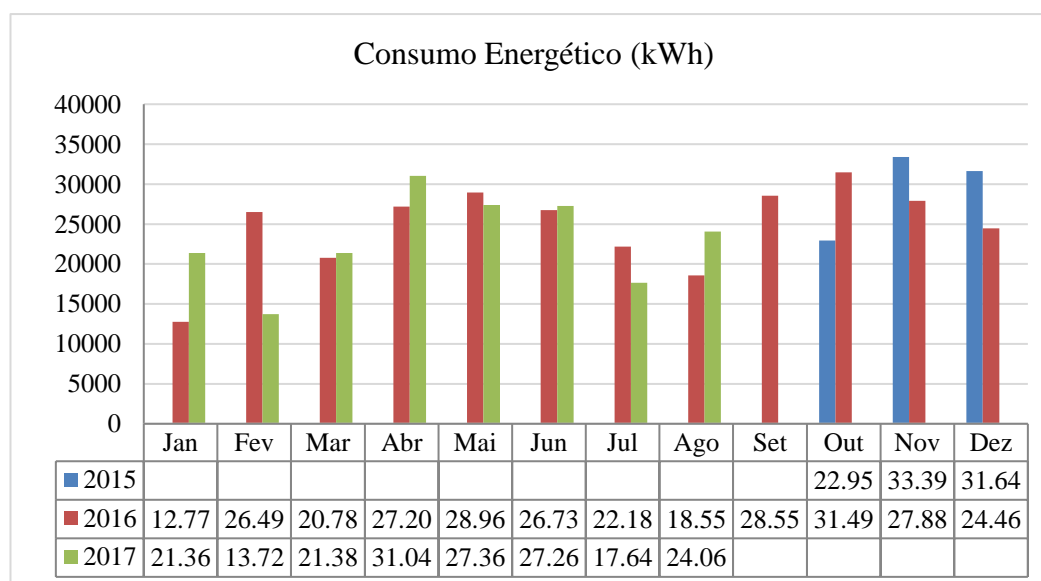


Gráfico 5.9 - Consumo de energia elétrica Campus Uruaçu (CELG, 2017)

Tabela 5.48 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Uruaçu

<i>Configuração</i>	<i>Painéis (un)</i>	<i>Potência (kWp)</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Relação Produção versus Consumo</i>
1	276	62,00	372,11	0,44
2	270	60,65	364,03	0,45
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	5,34			
Consumo (kWh/dia)	822,46			
Demanda contratada (kW)	180,00			

O campus Uruaçu recebe bons índices de irradiação solar. Contudo, os resultados do potencial de geração fotovoltaica no campus mostram que a quantidade de energia elétrica pela instalação dos painéis nas áreas úteis de telhado é insuficiente para atender ao consumo do campus.

5.11 CAMPUS VALPARAÍSO

5.11.1 Caracterização do Campus Valparaíso

O Campus Valparaíso está situado na coordenada geográfica latitude 16°05'59,80"S e longitude 47°58'29,57"W. O empreendimento é composto de auditório, bloco serviço, bloco administrativo, bloco salas de aulas, refeitório, bloco laboratórios e quadra coberta, os prédios destacados para a pesquisa têm juntos 2221,86 m² de área de telhado. A disposição dos prédios no terreno é mostrada na Figura 5.19.

A Tabela 5.49 apresenta os dados mais relevantes dos telhados do Campus Valparaíso.

Tabela 5.49 - Dados dos telhados dos prédios do Campus Valparaíso

<i>Telhado</i>	<i>Administração</i>		<i>Serviço</i>		<i>Sala de Aulas</i>		<i>Laboratório</i>	
	1	2	3	4	1	2	1	2
altura da inclinação (m)	0,28	0,28	0,27	0,28	0,31	0,32	0,68	0,68
ângulo de inclinação do telhado (°)	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44
orientação geográfica	norte	sul	leste	oeste	norte	sul	norte	sul
ângulo azimutal (°)	30,37	-149,63	120,37	-59,63	30,37	-149,63	30,37	-149,63

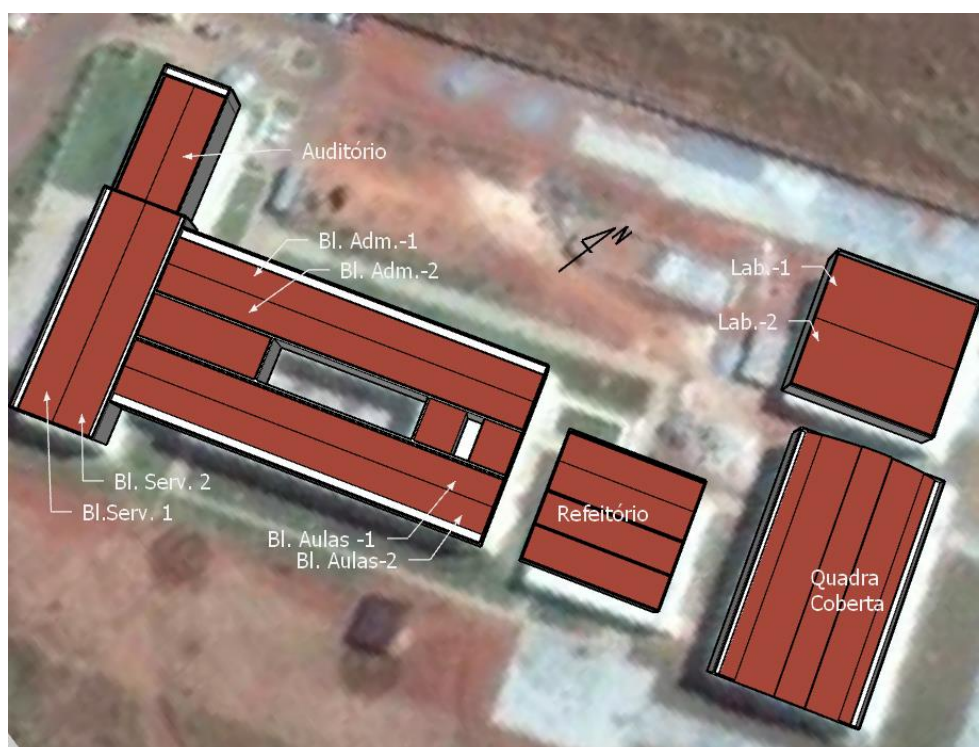


Figura 5.19 - Disposição dos prédios do Campus Valparaíso

5.11.2 Sombreamento solar

As imagens obtidas nas simulações para a indicação das áreas telhado que estão sujeitas a sombreamento estão apresentadas nos Anexo FF e Anexo GG e foram realizadas pelo software SketchUp, orientado a simular durante os solstícios de inverno e verão no horário das 9h, 12h e 15h. As áreas úteis de telhado, resultantes das simulações, ficam mostradas em branco na Figura 5.20, e as áreas em vermelho são as marcações que recebem sombra em alguma época do ano.

A diferença entre as áreas de coberturas e as áreas de telhado úteis para geração de energia fotovoltaica é de 214,63 m², representando 9,66% da área total de cobertura dos telhados selecionados na pesquisa:

5.11.3 Irradiação solar incidente sobre os telhados do Campus Valparaíso

A cidade de Valparaíso também não é contemplada pela base de dados do programa Radiasol 2, então foi necessário novamente adotar uma cidade referência para que, através de suas informações seja possível projetar a quantidade de irradiação solar incidente sobre os telhados. A cidade referência foi Brasília/DF, distante 37 km de Valparaíso.

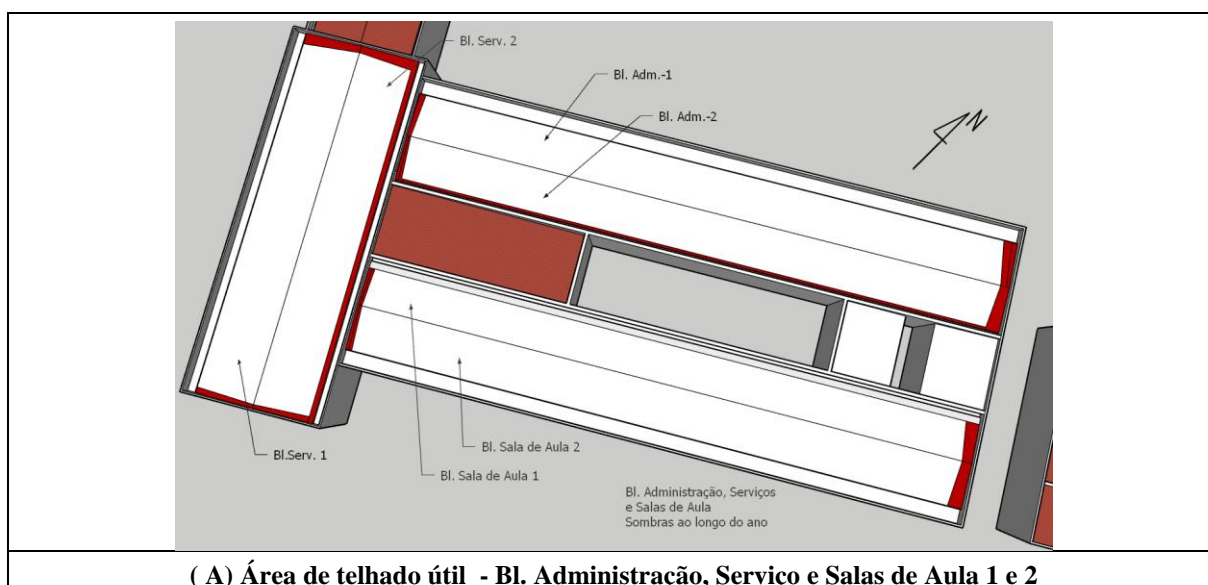
A Tabela 5.50 apresenta a Irradiação solar por telhado do Campus Valparaíso, informada pelo software Radiasol 2.

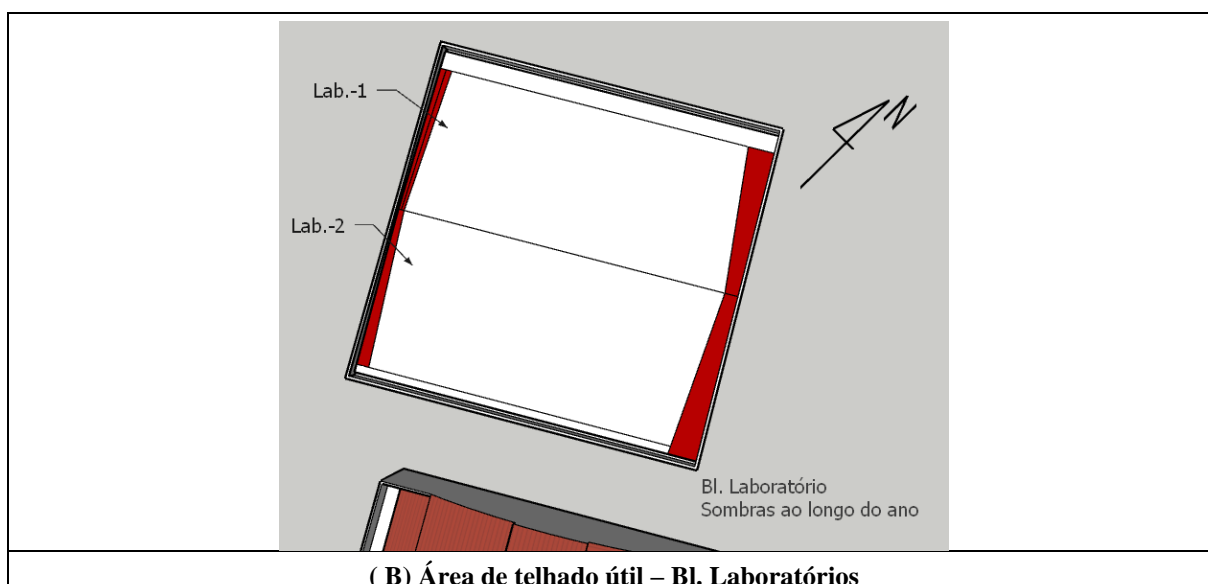
5.11.1 Potencial de geração de energia elétrica

O Campus Valparaíso demonstra possuir um potencial de geração de energia fotovoltaica, por meio da instalação de painéis sobre os telhados, na configuração n° 01 de 169,82 kWp - 1020,86 kWh com 756 painéis e na configuração n° 02 de 170,62 kWp - 1026,25 kWh com 760 painéis. A Tabela 5.51 apresenta a quantidade de painéis e a capacidade de geração de cada um dos telhados nas configurações n° 01 e n° 02.

Tabela 5.50 - Irradiação solar incidente sobre os blocos do Campus Valparaíso

Telhado	Administração		Serviço		Sala de Aula		Laboratório	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Ângulo de inclinação do painel (°)	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65
Ângulo azimutal (°)	30,37	-149,63	120,37	-59,63	30,37	-149,63	30,37	-149,63
Irradiação Média (kwh/m ² .dia)	5,40	5,28	5,30	5,38	5,40	5,28	5,40	5,28





(B) Área de telhado útil – Bl. Laboratórios

Figura 5.20 - Representação gráfica das áreas úteis de telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos sobre os Blocos Administração, Serviço, Salas de Aula 1 e 2 e Laboratório do Câmpus Valparaíso

5.11.2 Consumo de energia elétrica

O Campus Valparaíso tem demanda contratada de 30 kW e foi inaugurado recentemente, justificando a pouca informação contida no Gráfico 5.10, suficiente para a continuidade da pesquisa.

Pelas informações demonstradas no Gráfico 5.10, fica evidenciado que o consumo energético registrado no campus tem sido estável, apresentando pequenas baixas, provavelmente nos meses de férias. Os cálculos demonstram que, o consumo médio mensal no período foi de 7402,59 kWh e diário de 246,75 kWh.

O campus Valparaíso apresenta de consumo médio de 246,75 kWh/dia e potencial de geração de energia de 1001,75 kWh/dia com 756 painéis na configuração nº 01 e na configuração nº 02 gera 1026,25 kWh com 760 painéis. A capacidade de geração na configuração nº 01 é 4,13 vezes o consumo médio e na configuração nº 02 é de 4,15 vezes. A Tabela 5.52 apresenta o resumo deste estudo para o campus.

Os resultados do estudo mostram que o campus Valparaíso pode, pela instalação de painéis fotovoltaicos, gerar energia elétrica suficiente para atender suas necessidades de consumo e, ainda injetar o excedente na rede da concessionária.

Tabela 5.51 - Capacidade de geração fotovoltaica por telhado do Campus Valparaíso nas configurações n° 01 e n° 02

Telhado	Bloco principal e Auditório						Laboratório	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Configuração n° 01 – 756 painéis / 169,82 kWp - 1.020,86 kWh								
n° de painéis	116	116	66	66	116	116	80	80
produção diária/ painel (kWh)	1,37	1,34	1,34	1,36	1,37	1,34	1,37	1,34
produção diária/ telhado (kWh)	158,36	154,94	88,49	89,71	158,36	154,94	109,21	106,85
Configuração n° 02 – 760 painéis / 170,62 kWp - 1.026,25 kWh								
n° de painéis	108	108	80	80	108	108	84	84
produção diária/ painel (kWh)	1,37	1,34	1,34	1,36	1,37	1,34	1,37	1,34
produção diária/ telhado (kWh)	147,44	144,25	107,26	108,74	147,44	144,25	114,67	112,20

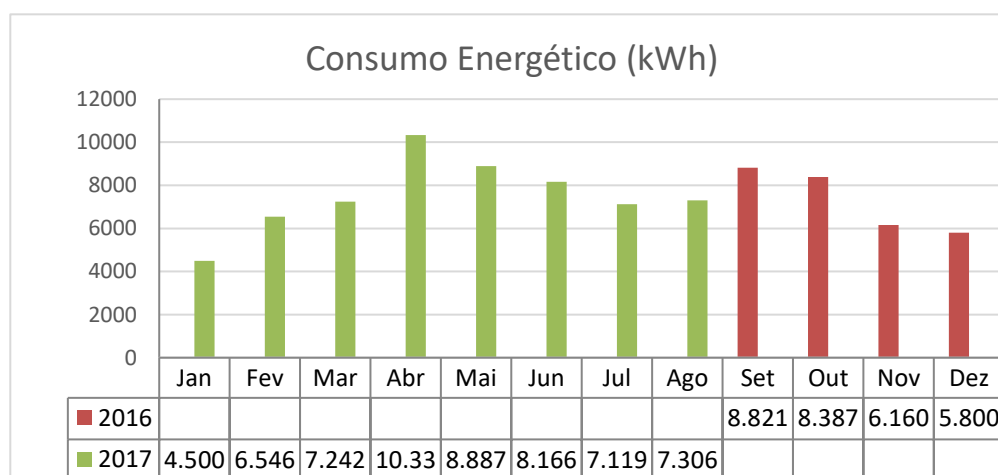


Gráfico 5.10 - Consumo de energia elétrica Campus Valparaíso (CELG,2017)

Tabela 5.52 - Resumo do potencial de geração fotovoltaica do Câmpus Valparaíso

Configuração	Painéis (un)	Potência (kWp)	Produção (kWh)	Relação Produção versus Consumo
1	756	169,82	1.020,86	4,13
2	760	170,62	1.026,25	4,15
Irradiação média (kWh/m ² .dia)	5,34			
Consumo (kWh/dia)	246,75			
Demanda contratada (kW)	30,00			

5.12 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NOS CAMPUS

O capítulo V apresenta os resultados dos procedimentos I e II obtidos nos estudos de casos realizados nos câmpus localizados nas cidades de Águas Lindas, Anápolis, Aparecida de Goiânia, Formosa, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Uruaçu e Valparaíso.

O procedimento I é a realização de quatro simulações de configurações de montagens dos painéis fotovoltaicos sobre os telhados do Campus Águas Lindas com o objetivo de verificar qual configuração de montagem é a mais adequada para implantar a geração de energia atendendo aos critérios de manutenção, área disponível, economicidade e segurança.

As quatro configurações de montagem consideram os painéis fotovoltaicos instalados sobre os telhados dos câmpus. Nas configurações n° 01 e n° 02 os painéis são instalados de forma plana, acompanhando a inclinação da cobertura e posicionados na transversal (configuração n° 01) e na longitudinal (configuração n° 02). Em ambas há a previsão de corredores de manutenção de 0,80m a cada 2 fileiras de painéis.

As configurações de montagem n° 03 e n° 04 trazem os painéis montados de forma inclinada sobre os telhados, na angulação da latitude local e também posicionados no sentido transversal (configuração n° 03) e longitudinal (configuração n° 04). As configurações n° 03 e n° 04 exigem que haja a correção da inclinação dos painéis. Para evitar o sombreamento entre painéis, uma equação específica determina a distância necessária de um gerador fotovoltaico para o outro.

A delimitação das áreas de telhado úteis é o resultado dos estudos de sombreamento que aponta todas as regiões da cobertura dos prédios que têm a incidência das sombras provocadas pelo sol, que podem ser ocasionadas por desníveis de telhado ou elementos que estão próximos ou sobre as coberturas.

Os estudos de sombreamento evidenciaram o quanto é importante conhecer as sombras que são projetadas no local onde se deseja instalar os painéis. A perda de área de telhado por sombreamento pode ser significativa comprometendo toda a estimativa de produção de energia. O Câmpus Uruaçu pode ser citado como exemplo, pois o bloco 300 é retirado das avaliações pela extensão das sombras incidentes na cobertura. Cabe destacar que a área de cobertura do bloco 300 representa quase 35% de toda a área de telhado que o campus possui.

Os resultados do procedimento I mostram que as configurações n° 01 e n° 02, em relação às configurações n° 03 e n° 04, atendem melhor aos critérios de: i) manutenção, ao permitir nos corredores de manutenção a realização dos serviços de limpeza, substituição de painéis e a troca de cabos e conectores; ii) área disponível, quando recebem uma maior quantidade de painéis; iii) economicidade, pela redução dos custos de instalação, tendo em vista a não necessidade de instalação da estrutura para a correção da inclinação dos painéis e, iv) segurança, por serem instalados de forma plana eliminam o risco de serem arrancados pela ação dos ventos.

Para os campus Anápolis, Aparecida de Goiânia, Formosa, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Uruaçu e Valparaíso foram realizados o procedimento II, pois as simulações n°3 e n° 04 não se mostraram tecnicamente vantajosas quando foram avaliadas no campus Águas Lindas.

O procedimento II avalia se a capacidade de geração de energia elétrica dos câmpus é em quantidade suficiente para atender ao consumo do campus, tornando-o autossuficiente e ainda, se há excedente para ser injetado na rede da concessionária de energia.

Desta forma, os procedimentos I e II serviram para avaliar o potencial de geração de energia elétrica pela instalação de painéis fotovoltaicos nos telhados dos câmpus e, a partir dos resultados obtidos, uma síntese foi montada e apresentada na Tabela 5.53.

Os resultados das configurações n° 01 e n° 02 apresentados na Tabela 5.53 trazem quantidade de painéis e de geração fotovoltaica distintas para cada uma das configurações. Pela Tabela 5.53, as diferenças entre as configurações n° 01 e n° 02 representam nos câmpus: Águas Lindas, 7,68%; Anápolis, 16,48%; Aparecida de Goiânia, 13,13%; Formosa, 13,13%; Inhumas, 12,69%; Itumbiara, 19,77%; Jataí, 2,89%; Luziânia, 18,21%; Uruaçu, 2,22% e Valparaíso, 0,56%.

A partir da aplicação do procedimento II, os resultados obtidos nas simulações são apresentados na Tabela 5.53, onde é possível verificar que todos os câmpus, com exceção de Uruaçu, têm capacidade de geração de energia fotovoltaica em quantidade suficiente para atender a suas necessidades e ainda injetar excedente na rede da Concessionária.

Com os quantitativos de geração informados na Tabela 5.53, pode ser calculada a quantidade de energia elétrica a ser disponibilizada na rede da concessionária de energia. Na configuração n° 01 este valor é de 12893,80 kWh e na configuração n° 02 11437,77 kWh. A

partir da instalação dos painéis fotovoltaicos na configuração em que é obtida a maior geração nos câmpus, a quantidade de energia a ser injetada na rede após a retirada da energia consumida pode chegar a 8114,99 kWh.

Tabela 5.53 - Síntese do potencial de geração fotovoltaica e consumo dos câmpus

Campus	Irradiância solar média (kWh/m ² .dia)	Consumo (kWh)	Configuração 01 - Transversal					Configuração 02 - Longitudinal				
			Quantidade de Painéis	Potência Instalada (kWp)	Produção (kWh)	Produção/painel (kWh)	Capacidade de geração	Quantidade de Painéis	Potência Instalada (kWp)	Produção (kWh)	Produção/painel (kWh)	Capacidade de geração
Águas Lindas	5,34	211,79	1.458	327,52	1.979,99	1,36	9,34	1.354	304,16	1.839,04	1,36	8,68
Anápolis	4,99	404,63	1.724	387,28	2.168,58	1,26	5,35	1.480	332,46	1.861,34	1,26	4,6
Aparecida	4,99	436,21	1.964	441,19	2.469,86	1,26	5,66	1.736	389,97	2.183,30	1,26	5,04
Formosa	4,87	417,93	1.964	441,19	2.635,56	1,34	5,74	1.736	389,97	2.329,75	1,34	6,3
Inhumas	4,91	480,6	1.324	297,42	1.642,33	1,24	3,42	1.492	335,16	1.854,20	1,24	3,86
Itumbiara	4,48	749,44	1.478	332,01	1.860,26	1,26	2,48	1.234	277,2	1.555,39	1,26	2,07
Jataí	4,98	573,35	1.316	295,62	1.635,06	1,24	2,88	1.279	287,31	1.606,13	1,26	2,78
Luziânia	5,34	435,65	1.402	314,94	1.888,00	1,35	4,32	1.186	266,42	1.597,15	1,35	3,67
Uruaçu	5,34	822,46	276	62,00	372,11	1,35	0,45	270	60,65	364,03	1,35	0,44
Valparaíso	5,34	246,75	756	169,82	1.020,86	1,35	4,13	760	170,62	1.026,25	1,35	4,15

Pelos resultados apresentados, nota-se que a quantidade de irradiância solar incidente na localidade pode dar subsídios para identificar os câmpus com melhor potencial de geração de energia. Pela Tabela 5.53, o Campus Águas Lindas tem o maior índice de irradiação solar, sendo de 9,36% a diferença entre este campus e o Campus Inhumas, que apresenta a menor irradiação solar, compatível com o que apresenta o mapa solarimétrico brasileiro. Ainda na Tabela 5.53 é possível observar o consumo de energia elétrica dos câmpus, sendo o maior registro vinculado ao Campus Uruaçu. Em relação ao Campus Águas Lindas, o campus de menor consumo, a diferença de consumo é de 288,34%.

Nos câmpus do IFG é possível optar por planejar a instalação do SFV na quantidade de painéis que atenda à necessidade de consumo energético atual da instituição, sem previsão de gerar excedente para injeção na rede da concessionária. A Tabela 5.54 apresenta um planejamento de instalação do SFV sobre os telhados do campus em que a quantidade de energia elétrica gerada atenda a necessidade atual do campus.

A escolha dos telhados é fundamental na quantidade de irradiação solar que recebem e na quantidade de painéis que podem comportar, sendo que o objetivo é utilizar somente a quantidade de telhados em que a geração atenda ao consumo médio anual de cada campus. Assim, as informações da Tabela 5.54 mostram que apenas alguns telhados são necessários para gerar a quantidade de energia demandada por cada campus. Essa informação tem grande valor ao servir de orientação aos projetistas dos SFV quando for necessário decidir qual a melhor forma e o melhor local para instalar os painéis fotovoltaicos.

A geração de energia em um campus para ser compensada em outro implica concentrar em um ou mais locais a produção fotovoltaica e traz a vantagem de reduzir os investimentos na instalação e na manutenção do sistema. Dessa forma, o resultado do estudo permite também estabelecer um planejamento de geração fotovoltaica para compensação de energia elétrica entre os câmpus. No sistema de compensação de energia, um campus pode vir a gerar a energia elétrica para ser compensado em outro campus. A Tabela 5.55 apresenta uma opção de planejamento que pode ser adotada para compensação de energia fotovoltaica entre os câmpus.

O planejamento apresentado na Tabela 5.55 mostra que a instalação de SFV somente nos campus Águas Lindas, Luziânia e Formosa pode gerar a energia elétrica em quantidade suficiente para atender ao consumo energético de todos os câmpus. A indicação e a escolha do campus é pela boa irradiância solar que recebem e pela quantidade de energia que pode produzir. O Campus Valparaíso tem irradiância melhor que o campus Formosa, porém esse campus foi retirado e substituído por Luziânia devido à baixa produção. caso o Campus Valparaíso fosse incluído no planejamento apresentado na Tabela 5.55, seria necessária a inclusão de mais um campus para gerar a quantidade de energia elétrica necessária para atender ao consumo de todos os campus na compensação elétrica.

Ainda, a partir da Tabela 5.55, constata-se que a produção fotovoltaica do Campus Águas Lindas de 1979,99kWh é capaz de atender suas necessidades de consumo e dos câmpus Aparecida, Anápolis, Inhumas e Valparaíso. Também que a geração do Campus Luziânia de 1888,00kWh é suficiente para atender ao próprio consumo e aos dos câmpus Jataí e Uruaçu. E por fim, com a produção de 2635,56kWh, o Campus Formosa produz o suficiente para suprir o consumo próprio e o do Campus Itumbiara

Tabela 5.54 - Planejamento de instalação de SFV para atender ao consumo atual dos câmpus

<i>Campus</i>	<i>Consumo (kWh)</i>	<i>Telhado</i>	<i>Irradiância solar média (kWh/m².dia)</i>	<i>Configuração</i>	<i>Quant. De Painéis</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Produção Total (kWh)</i>
Águas Lindas	211,79	Serviço-2	5,27	1	156	212,16	212,16
Anápolis	404,63	Bloco 400- 1	5,09	1	168	215,04	405,76
		Bloco 500-1	5,09	1	149	190,72	
Aparecida de Goiânia	436,21	Galpão-1	5,07	1	188	236,88	437,22
		Administrativo-1	5,07	1	159	200,34	
Formosa	417,93	Bloco 400-2	4,98	1	188	236,88	418,32
		Galpão-1	4,98	1	144	181,44	
Inhumas	480,60	Bloco 300-2	5,21	2	84	104,16	481,12
		Bloco 500-2	5,21	2	92	114,08	
		Bloco 600-2	5,21	2	92	114,08	
		Bloco 700-2	5,21	2	64	79,36	
		Bloco 900-2	5,21	2	56	69,44	
Itumbiara	749,44	Bloco 100-2	5,13	1	42	52,92	749,70
		Bloco 200-2	5,13	1	126	158,76	
		Bloco 400-2	5,13	1	92	115,92	
		Bloco 600/1-2	5,07	1	165	207,90	
		Bloco 600/2-2	5,07	2	170	214,20	
Jataí	573,35	Bloco 100-2	4,95	2	186	230,64	579,08
		Bloco 400-2	5,01	1	174	215,76	
		Bloco 500-4	5,01	2	107	132,68	
Luziânia	435,65	Bloco 400-2	5,45	1	180	243,00	436,05
		Bloco 500-2	5,45	1	143	193,05	
Uruaçu	822,46	Bloco 100/200-1	5,36	1	82	181,22	627,64
		Bloco 100/200-2	5,33	1	82	181,22	
		Bloco 400-1	5,36	2	60	132,60	
		Bloco 400-2	5,33	2	60	132,60	
Valparaíso	246,75	Administrativo-1	5,40	1	116	158,92	247,97
		Sala de aula-1	5,40	1	65	89,05	

Tabela 5.55 - Planejamento de instalação de SFV para compensação de energia entre os câmpus

<i>Campus Gerador</i>	<i>Irradiância solar média (kWh/m².dia)</i>	<i>Consumo (kWh)</i>	<i>Configuração</i>	<i>Produção (kWh)</i>	<i>Campus Compensador</i>	<i>Consumo (kWh)</i>	<i>Consumo Total (kWh)</i>
Águas Lindas	5,34	211,79	2	1.979,99	Aparecida	436,21	1.779,98
					Valparaíso	246,75	
					Anápolis	404,63	
					Inhumas	480,6	
Luziânia	5,34	435,65	1	1.888,00	Uruaçu	822,46	1.831,46
					Jataí	573,35	
Formosa	4,87	417,93	1	2.635,56	Itumbiara	749,44	1.230,04

Finalizando, devido aos avanços tecnológicos que têm colocado à disposição do mercado consumidor painéis fotovoltaicos mais eficientes e com capacidade de produção superior ao modelo de painel adotado nesta pesquisa, a quantidade de energia fotovoltaica gerada nos câmpus pode ser superior à estimada se os projetistas adotarem um painel fotovoltaico com características mais atualizadas.

6 CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO

A finalidade principal deste trabalho é avaliar o potencial de geração de energia elétrica nos câmpus do IFG, utilizando a área de telhado disponível na cobertura dos prédios para instalar painéis fotovoltaicos que produzam energia em quantidade suficiente para tornar os câmpus autosuficientes energeticamente e ainda injetar o excedente na rede da concessionária de energia.

O trabalho adota a definição de utilizar como estudo de caso os câmpus Anápolis, Aparecida de Goiânia, Formosa, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Senador Canedo, Uruaçu e Valparaíso. As pesquisas de índices de irradiância solar na localidade dos câmpus listados no trabalho confirmam que todos os câmpus estão instalados em regiões que oferecem ótima incidência solar e em quantidade adequada para produzir bons resultados em geração fotovoltaica, demonstrando ser tecnicamente viável a produção solar.

A escolha dos telhados e a área disponível para a instalação dos painéis é resultado dos estudos de sombreamento realizados por simulação computacional em três horários nos dias de solstícios de inverno e verão. Os telhados planos se apresentam como os mais adequados para a instalação dos painéis fotovoltaicos e os estudos de sombreamento apontam as áreas que recebem sombras ao longo do ano. Esses dados podem ser utilizados para orientar os projetistas no momento da montagem dos painéis sobre os telhados, pois indicam os locais em que os painéis podem ser instalados para produzir energia elétrica nas horas de sol pleno sem a interferência das sombras que podem ser provocadas por elementos pertencentes ou não à cobertura dos prédios.

O trabalho também avalia a melhor configuração para a montagem dos painéis sobre os telhados com a realização de quatro simulações no campus Águas Lindas, onde os painéis são instalados de forma plana sobre os telhados nas posições transversal e longitudinal e de forma inclinada com angulação da latitude local, também nas posições transversal e longitudinal. As simulações trazem o resultado pelos critérios de: melhor aproveitamento da área disponível, manutenção, economicidade e resistência a ação dos ventos. As configurações de montagem nº 01 e nº 02 mostram ser tecnicamente mais vantajosas. Nas simulações, observa-se que a inclinação do painel tem pouca influência sobre a produção solar, contudo, quando os geradores são posicionados de forma plana a montagem na transversal ou longitudinal pode alterar significativamente o potencial de geração.

Os estudos de caso realizados com os parâmetros das configurações de montagem n° 01 e n° 02 evidenciam que os câmpus do IFG, com exceção do Campus Uruaçu, têm potencial para que com a geração fotovoltaica se tornem autossuficientes energeticamente e, após retirada a energia necessária para o funcionamento dos câmpus, ainda é possível injetar 8114,99 kWh na rede da concessionária para ser disponibilizada a outros consumidores de energia.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando aprofundar o tema levantado nesta pesquisa, que tem como foco o potencial de geração fotovoltaico nos câmpus, sugere que novos trabalhos sejam iniciados com o objetivo de:

- ✓ Revisar os contratos de demanda firmados entre os câmpus e a concessionária de energia;
- ✓ Realizar estudos de efficientização energética nos câmpus para redução do consumo e melhor aproveitamento da energia elétrica utilizada e;
- ✓ Avaliar a estrutura das redes de distribuição de energia que alimentam os câmpus para receber o excedente de energia em sistema de compensação de energia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informação de Geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>. Acesso em: março de 2018a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações Gerenciais**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+-+4%C2%BA+trimestre+2017/44ee3035-27e5-0398-e7e3-c612ec4dc994>. Acesso em: março de 2018b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações Gerenciais**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-gerenciais>. Acesso em: março de 2018c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída**. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp. Acesso em: julho de 2018d.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Chamada nº 001/2016 Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: “Eficiência Energética em Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656831/14930433/Priorit%C3%A1rio+e+Estrat%C3%A9gico+%28Edital+final%29/7817f2ab-0f65-42b8-b8d4-e91a2b61239f>. Acesso em: janeiro de 2018e.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Chamada Pública nº 013/2011 Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”**. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/ped_2011-chamadape13-2011.pdf. Acesso em: janeiro de 2018h.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 481/2012 de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/042/resultado/ren2012481.pdf>. Acesso em: janeiro de 2018g.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>. Acesso em: janeiro de 2018e.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 517/2012 de 11 de dezembro de 2012**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>. Acesso em: janeiro de 2018f.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: janeiro de 2018i.

ALMEIDA, V. F. (2013). **Potencialidades e viabilidade da utilização de painéis fotovoltaicos nos edifícios e na sua vizinhança urbana**. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

BANCO MUNDIAL. **Atlas Solar Global**. Disponível em: <https://worldbank-atlas.s3.amazonaws.com/download/World/World_PVOUT_mid-size-map_160x95mm-300dpi_v20170216.png?AWSAccessKeyId=AKIAICMM2RR5OTXFNDKQ&Expires=1515069311&Signature=dT0KnstUWKO68Gb5yA5Jwu4oM5o%3D>. Acesso em: janeiro de 2018.

BANCO MUNDIAL. **BP Statistical Review of World Energy June 2017**. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf>>. Acesso em: janeiro de 2018.

BRASIL. **Lei nº 13.169, de 06 de outubro de 2015**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113169.htm>. Acesso em: janeiro de 2018a.

BRASIL. **Lei nº 13.203, de 08 de dezembro de 2015**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/113203.htm>. Acesso em: janeiro de 2018b.

BRASIL. **Lei nº 7.212, de 15 de junho de 2010**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7212.htm>. Acesso em: janeiro de 2018c.

CAMPOS, M. ; ALCANTARA, L. D. **Interpretação dos Efeitos de Tempo Nublado e Chuvoso Sobre a Radiação Solar em Belém/PA Para Uso em Sistemas Fotovoltaicos**. Revista Brasileira de Meteorologia,[s.l.], v. 31, nº 41, p.570-579, dez. 2016. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150065>.

CARBON BRIEF. **Analysis: How developing nations are driving record growth in solar power**. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/analysis-developing-nations-driving-record-growth-solar-power>>. Acesso em: abril de 2018.

CENTRO DE ENSINO E PESQUISAS APLICADAS. **Vantagens e Desvantagens das Fontes Energéticas**. Disponível em: <[www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/ Grupo2B/Hidraulica/energia_recurso.htm](http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Hidraulica/energia_recurso.htm)>. Acesso em: dezembro de 2017.

CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO. **Potencial Solar**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: março de 2018.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. **Convênio ICMS 101/97, de 18 de dezembro de 1997**. Disponível em: <<http://app1.sefaz.mt.gov.br/sistema/legislacao/legislacaotribut.nsf/07fa81bed2760c6b84256710004d3940/f219de0bc8dbf2ce832567940040cc22?OpenDocument>>. Acesso em: janeiro de 2018a.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. **Convênio ICMS 16, DE 22 DE ABRIL DE 2015**. Disponível em

<https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15>. Acesso em: março de 2018b.

FARIA, A. F. **Eficiência Energética e Geração Distribuída: Estudo de Caso Aplicado a Sistema de Iluminação, Condicionamento Ambiental e Adição de Fonte Incentivada de Energia Elétrica**, 2016.140f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) Instituto Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

FERREIRA, L.G.G.B. **Efeito da Ação dos Ventos em Painéis Fotovoltaicos Instalados em Telhados de Edifícios**. 2017. Núcleo de Estudos e Pesquisas Experimentais e Tecnológicas (NEXT) do Instituto Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

GUENA, A. M. O. **Avaliação Ambiental de Diferentes Formas de Geração de Energia Elétrica**.2007. 133f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo,2007.

LOPES, R.J.C. **Efeito do Sombreamento nos Painéis Fotovoltaicos**. 2014. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.

MATIAS, C. A.. **Desenvolvimento de bancada para testes de eficiência energética em painéis fotovoltaicos**. 2018, Dissertação, (Mestrado Profissional em Tecnologia de Processos Sustentáveis). Instituto Federal de Goiás. Goiânia, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia no Mundo - Matrizes e Indicadores 2017 - anos ref. 2015 - 16**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14++Energia+no+Mundo++Matrizes+e+Indicadores+2017++anos+ref.+2015++16+%28PDF%29/60755215-705a-4e76-94ee-b27def639806;jsessionid=E771C31AC8C293339D02919A5D95A2C6.srv155>>. Acesso em: dezembro de 2017a.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Energia Solar no Brasil e Mundo: Ano de referência 2016 - 2017**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17++Energia+Solar++Brasil+e+Mundo++ano+ref.+2015+\(PDF\)/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17++Energia+Solar++Brasil+e+Mundo++ano+ref.+2015+(PDF)/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154)>. Acesso em: janeiro/2017b.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **Geração de Energia**. Disponível em:<http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx>. Acesso em fevereiro/2018a.

PELÁGIO, P. R. F. S. **Estudo de viabilidade técnico-econômica para implantação de sistema de painéis fotovoltaicos no Campus Goiânia**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia 2014.

PEREIRA, E. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: E-book, 2017. 88 p. Disponível em: <www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Hidraulica/energia_recurso.htm>. Acesso em dezembro/2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

REIS L.B.; SANTOS E.C. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais**. Barueri, SP: Manole, 2014a.

RODRIGUES, J. M. **Arranjos técnicos e análise econômica para subsidiar a decisão de instalação de gerador de energia elétrica fotovoltaica em um prédio público e em uma planta industrial**. 2015. 225f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2015.

ROSA, Aldo Vieira. **Processos de Energias Renováveis**, 3^o ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier. 2015.

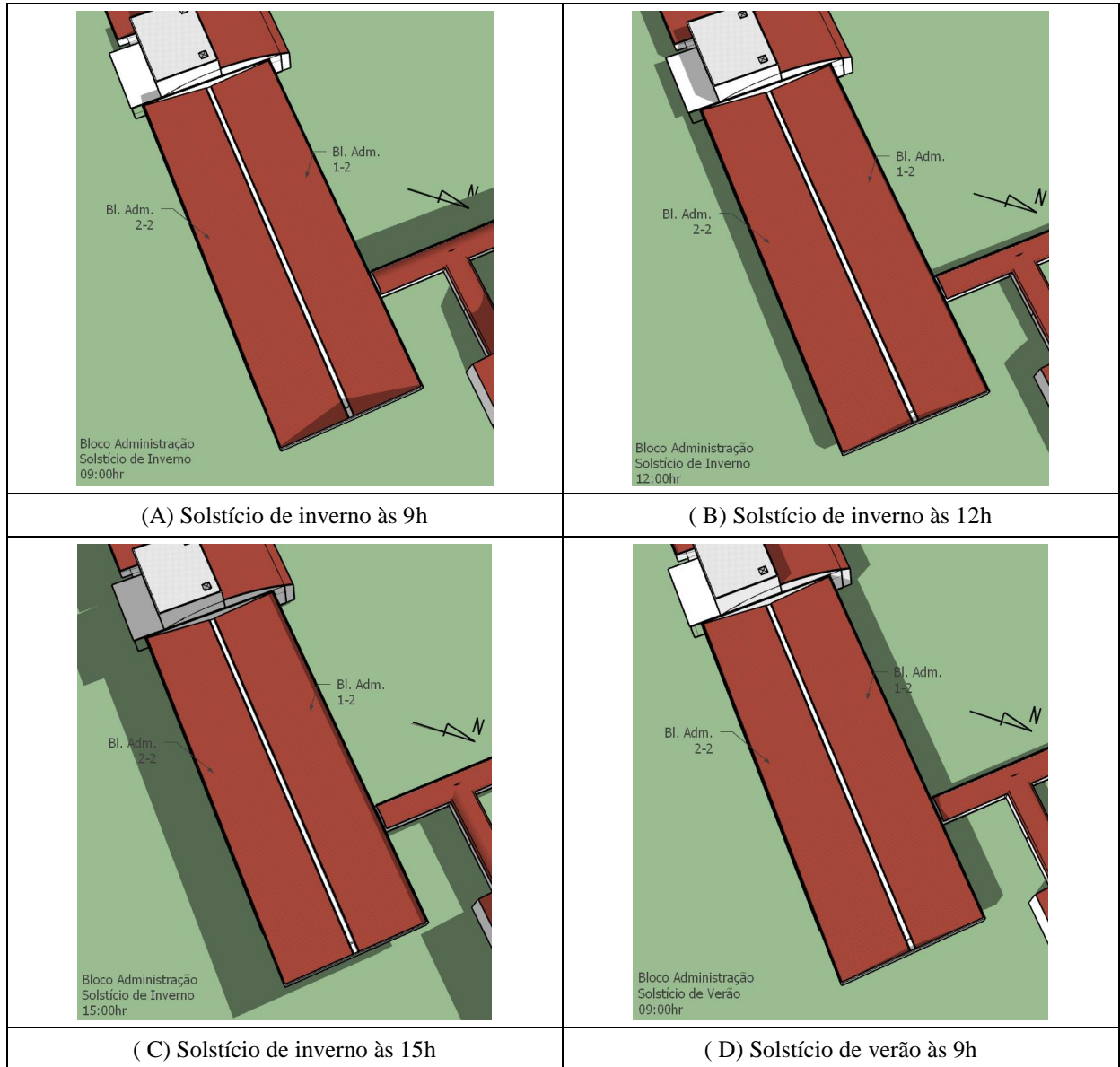
SALAMONI, I. T. **Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis, SC: UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

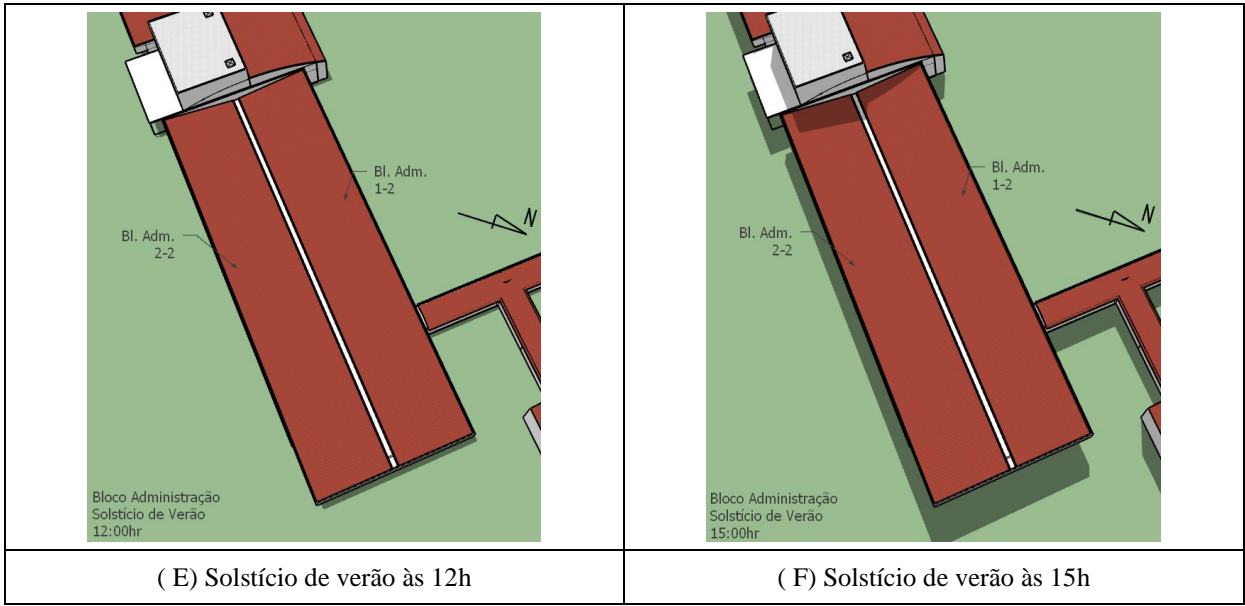
TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções**. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200002>. Acesso em: março, 2018.

VILLALVA, M. A.;GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 2012.

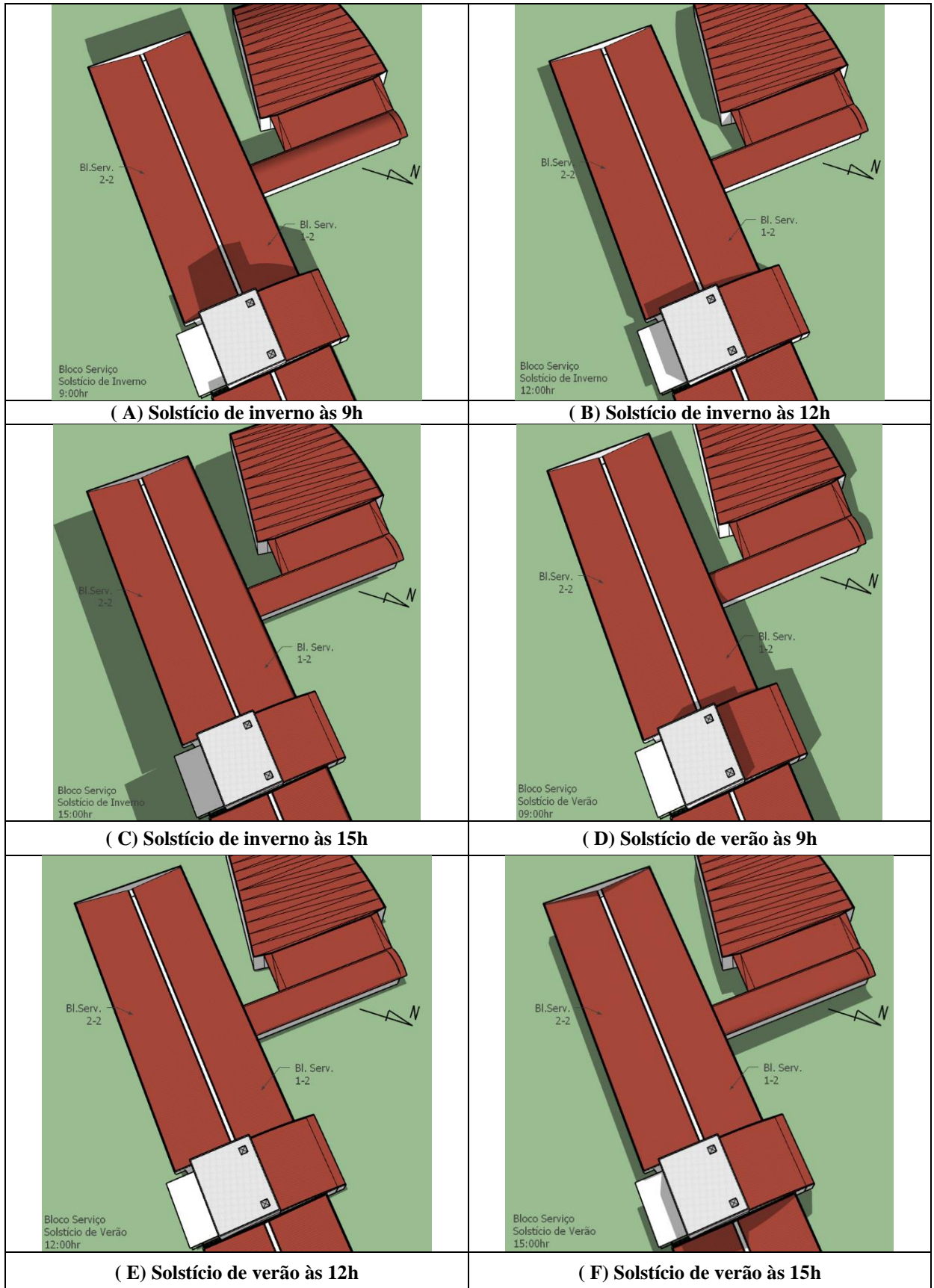
ANEXOS

Anexo A - Representação do sombreamento solar sobre o bloco administração durante os solstícios de inverno e verão –Campus Águas Lindas

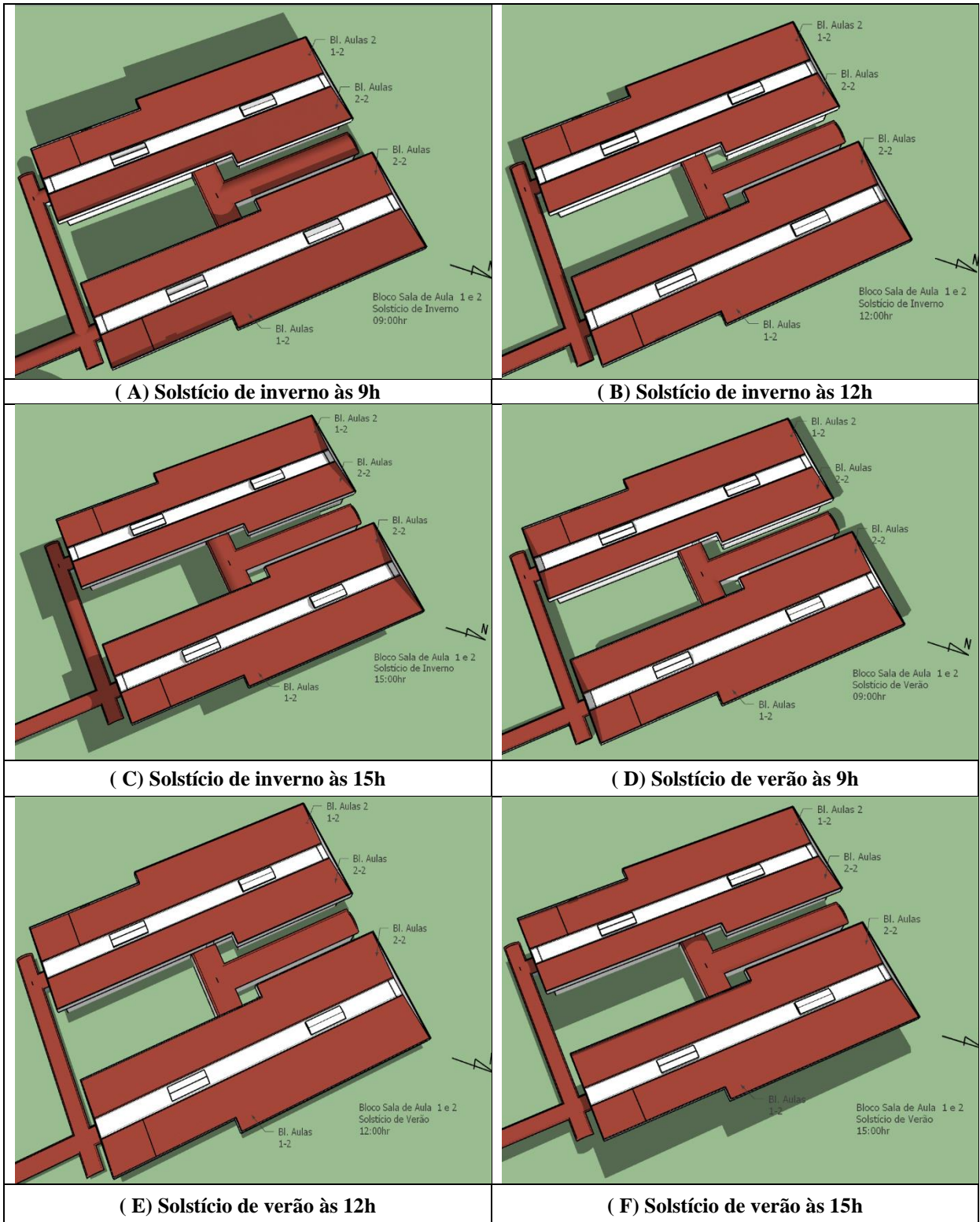




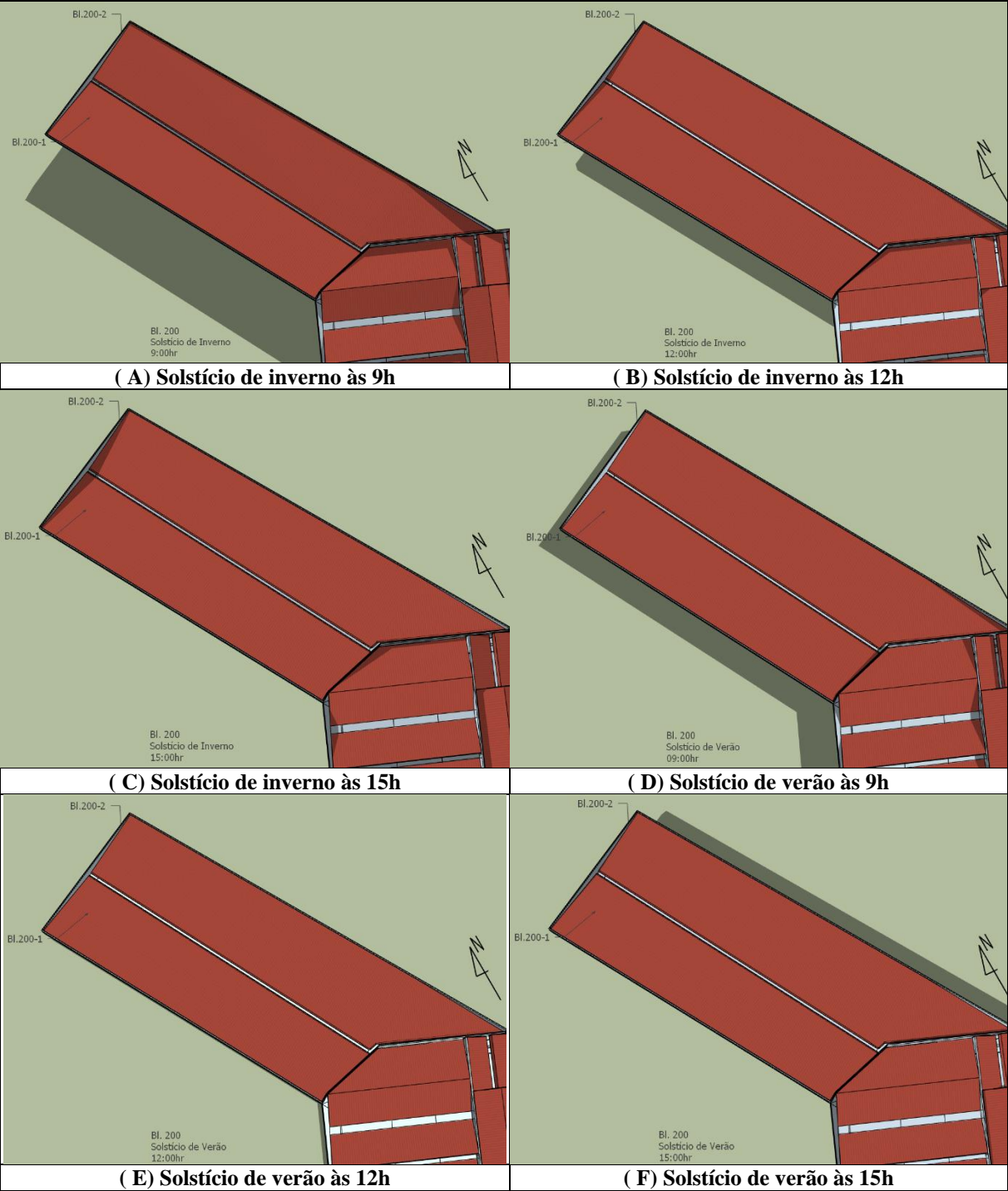
Anexo B - Representação do sombreamento solar sobre o bloco serviço durante os solstícios de inverno e verão –Campus Águas Lindas



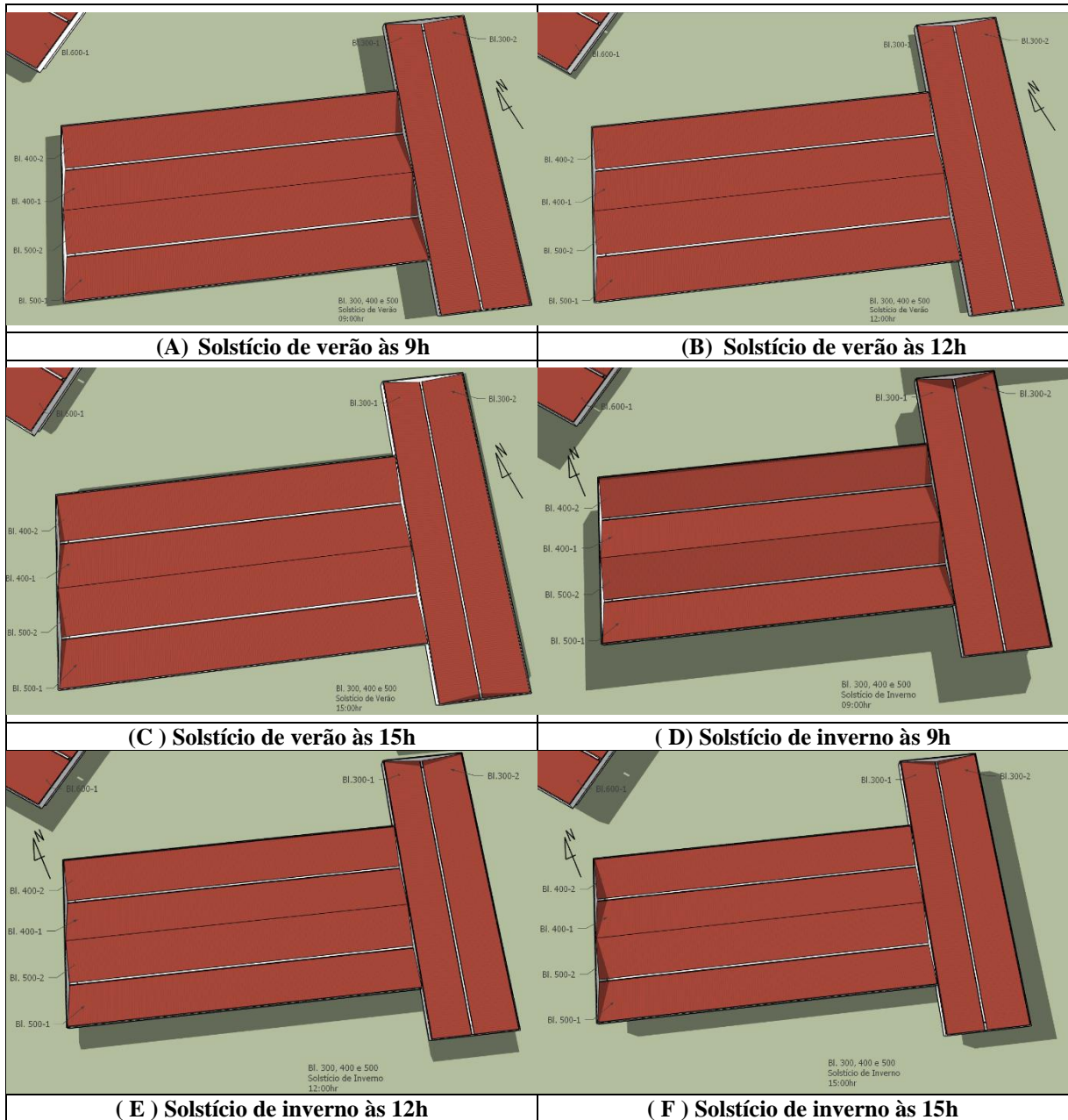
Anexo C - Representação do sombreamento solar sobre os blocos sala de aula 1 e 2 durante os solstícios de inverno e verão –Campus Águas Lindas



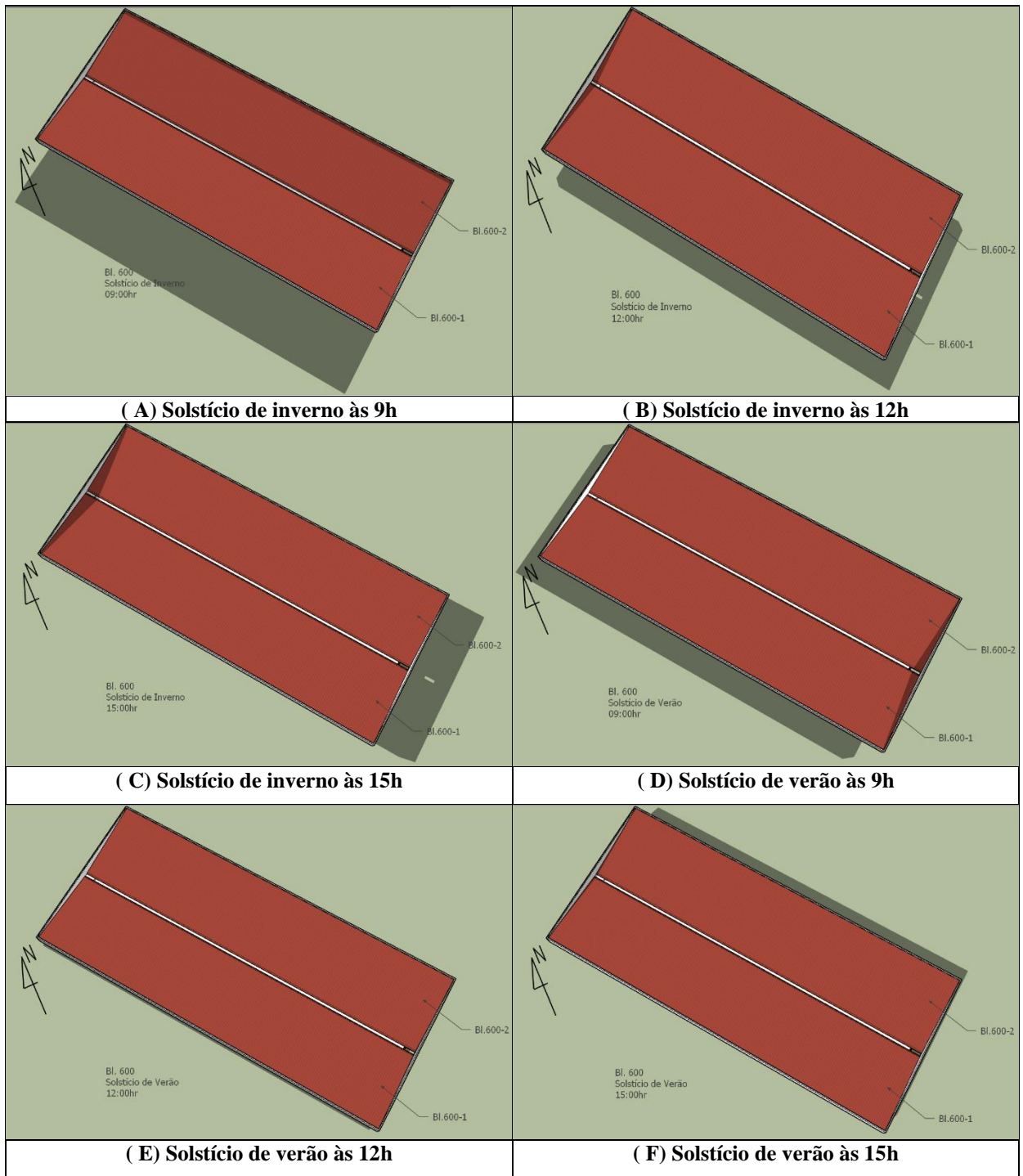
Anexo D - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Bloco 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Anápolis



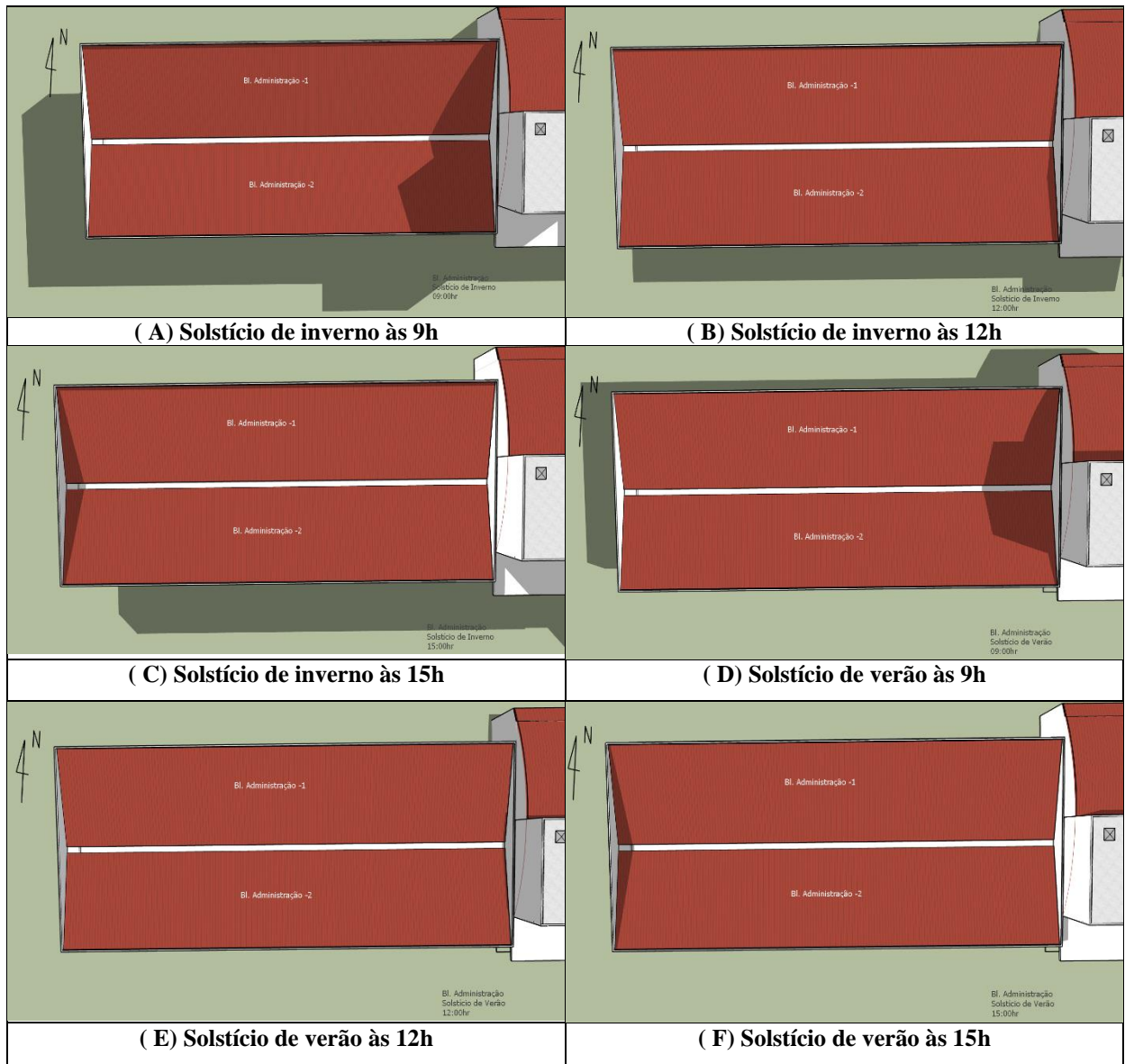
Anexo E - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 300, 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Anápolis



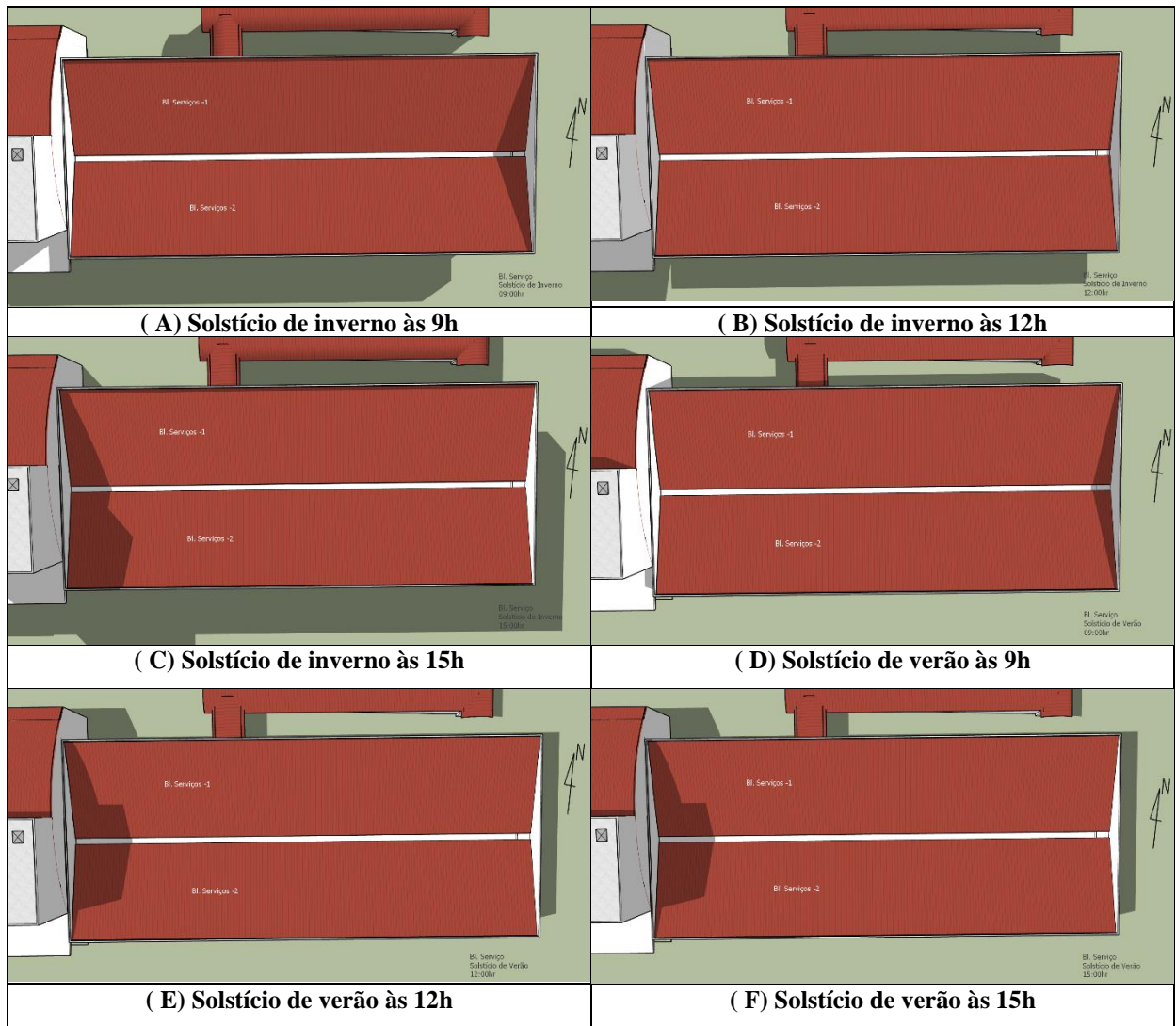
Anexo F - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Galpão Tecnológico durante os solstícios de verão e inverno – Campus Anápolis



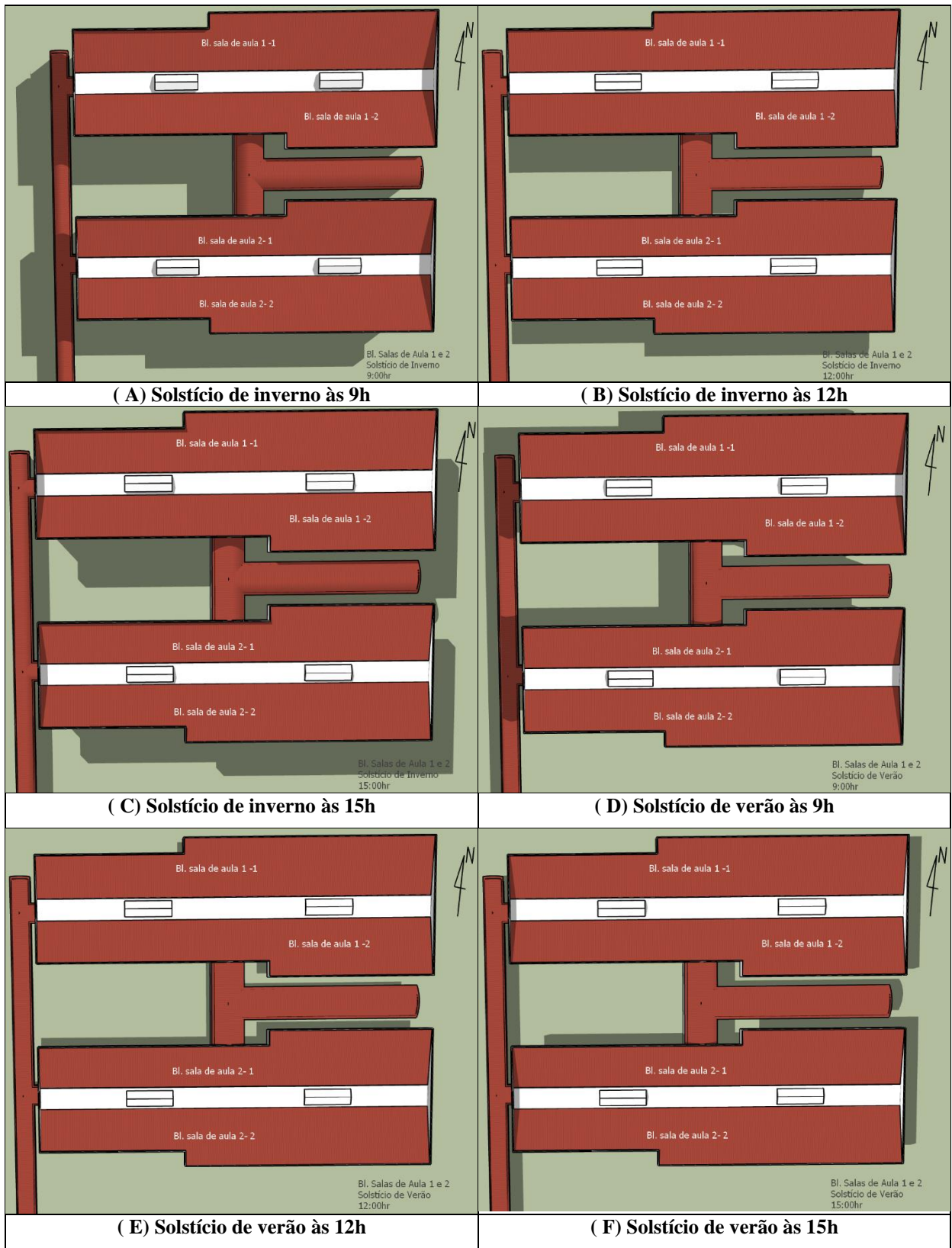
Anexo G - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Administração durante os solstícios de verão e inverno – Campus Aparecida de Goiânia



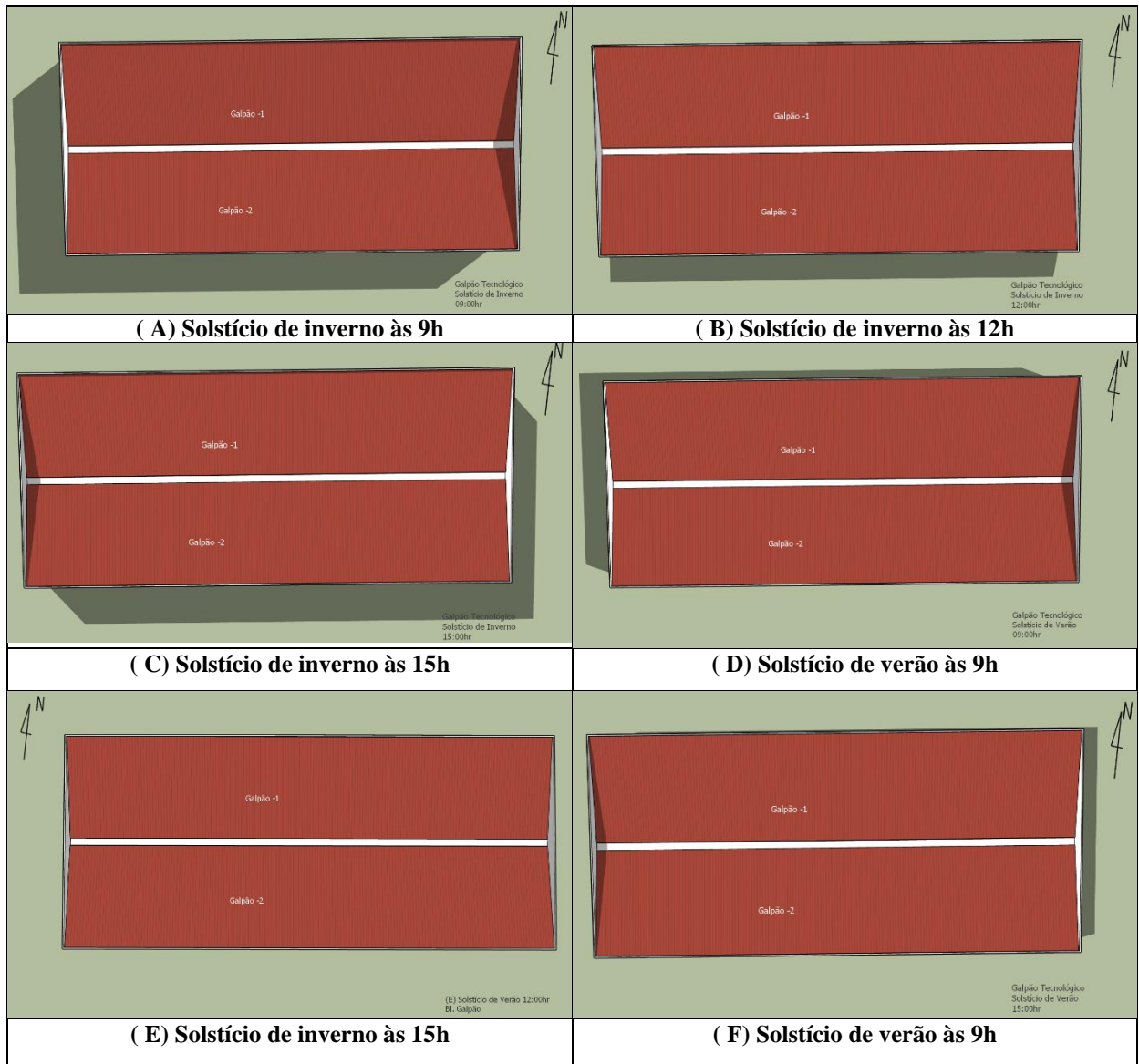
Anexo H - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Serviço durante os solstícios de verão e inverno – Campus Aparecida de Goiânia



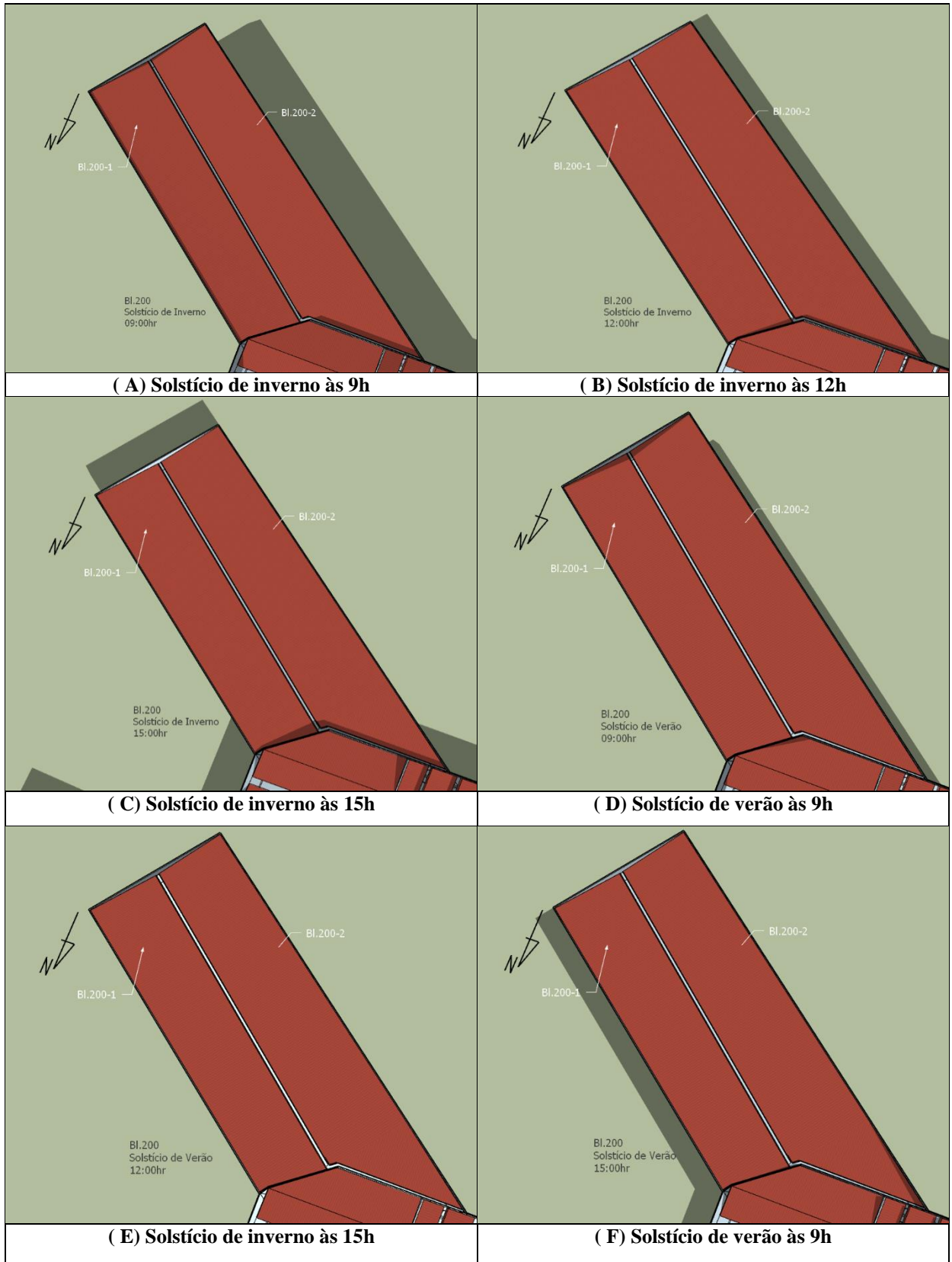
Anexo I - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Sala de Aulas 1 e 2 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Aparecida de Goiânia



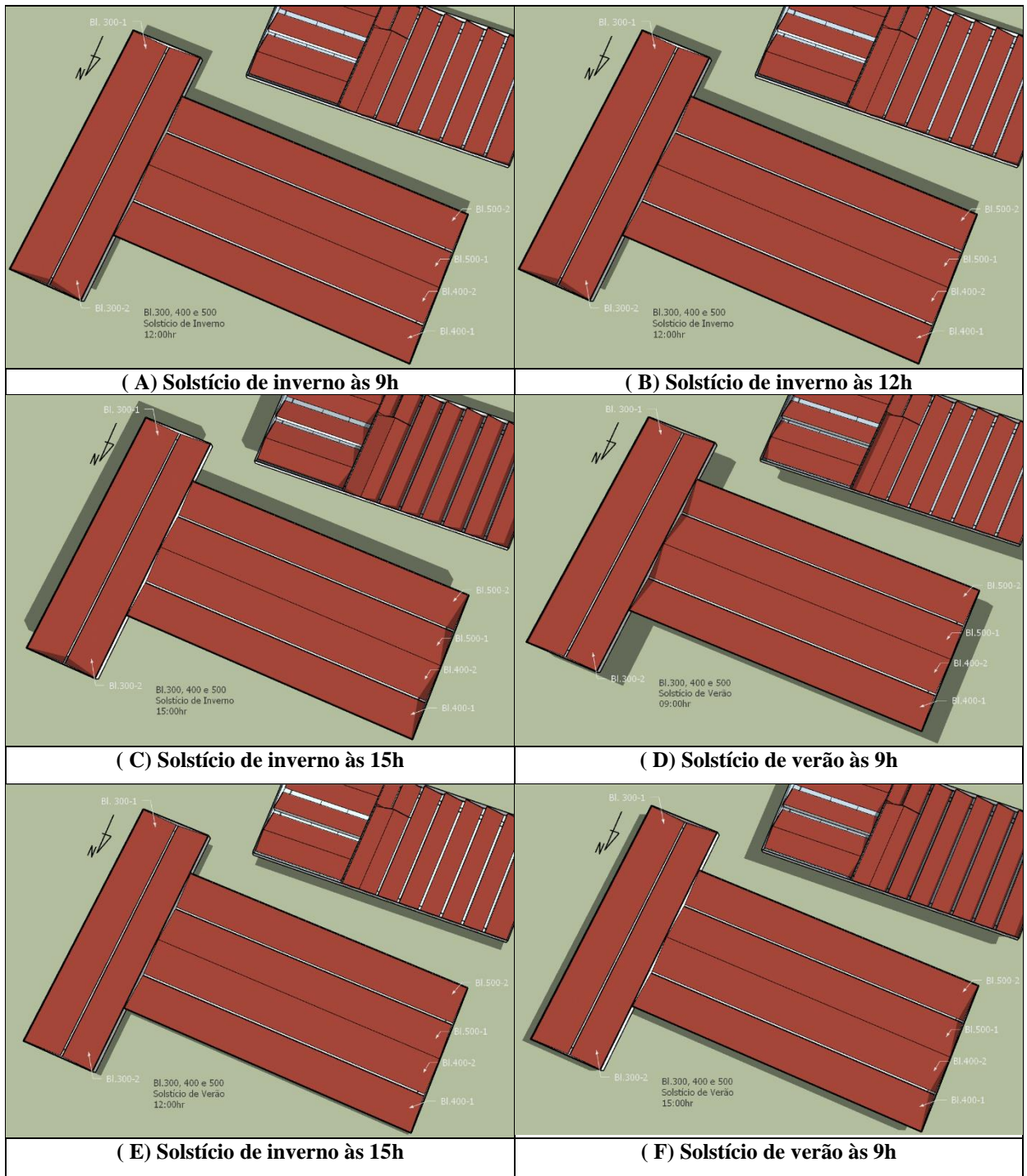
Anexo J - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Galpão Tecnológico durante os solstícios de verão e inverno – Campus Aparecida de Goiânia



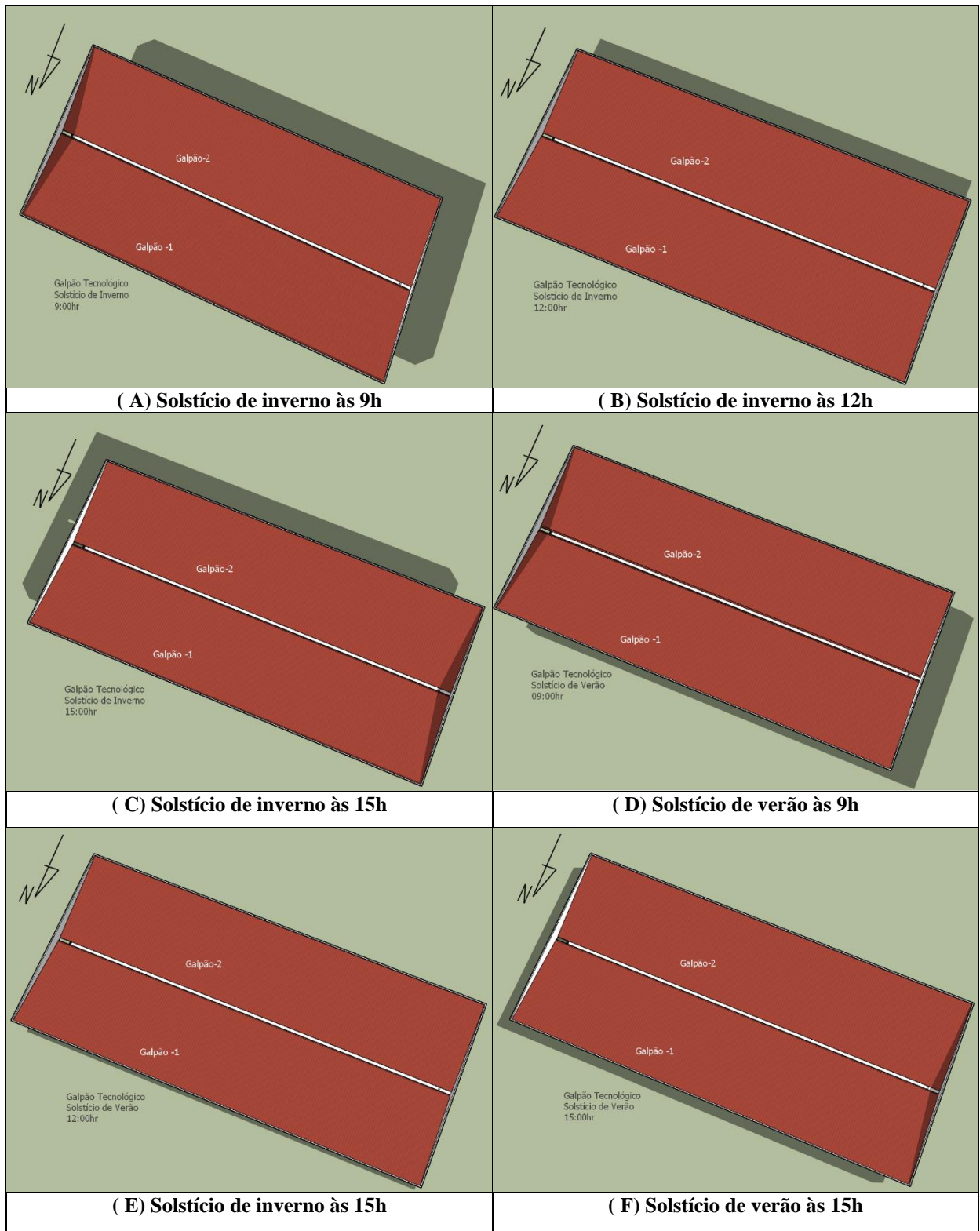
Anexo K - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Formosa



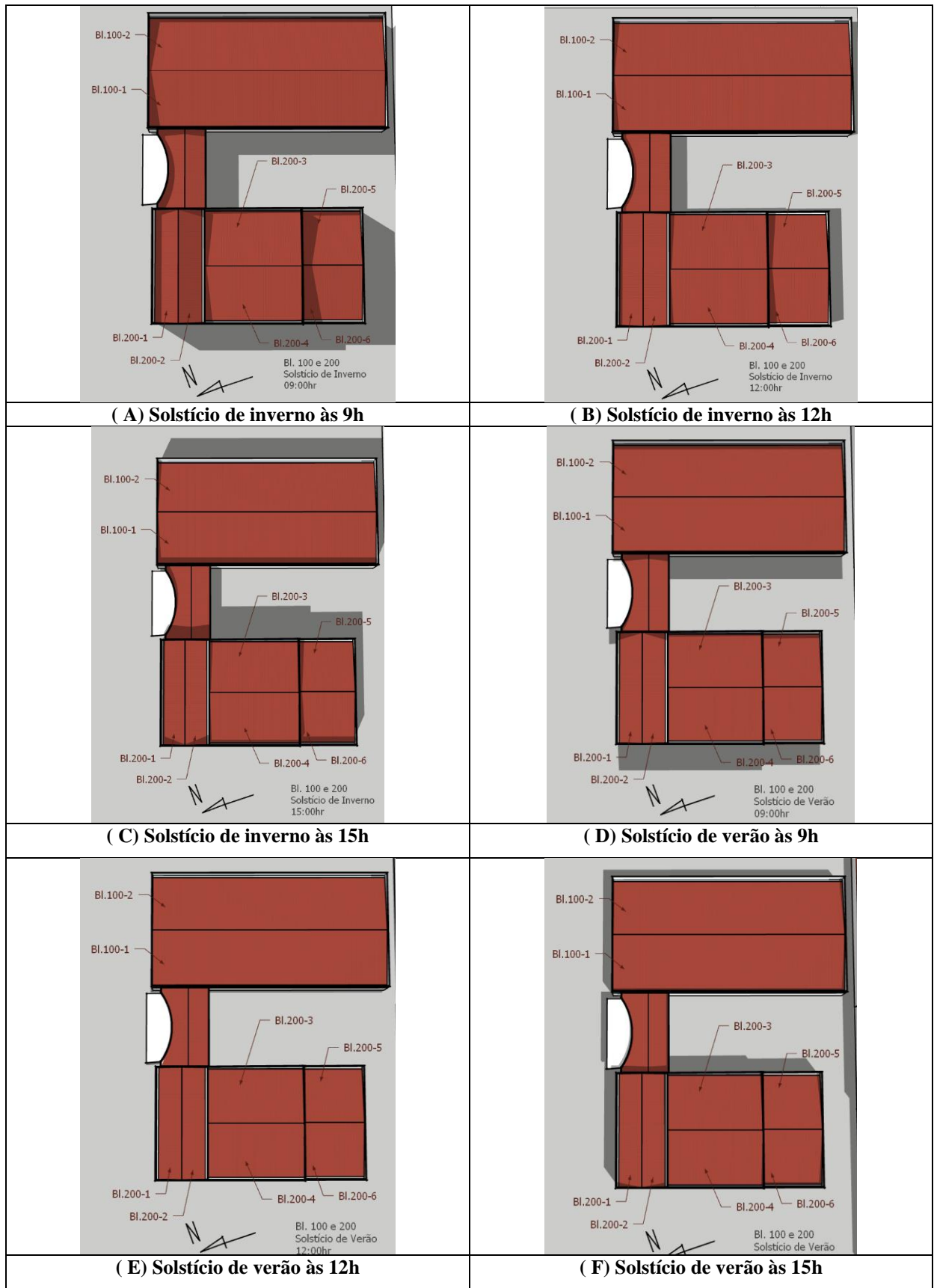
Anexo L - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 300, 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Formosa



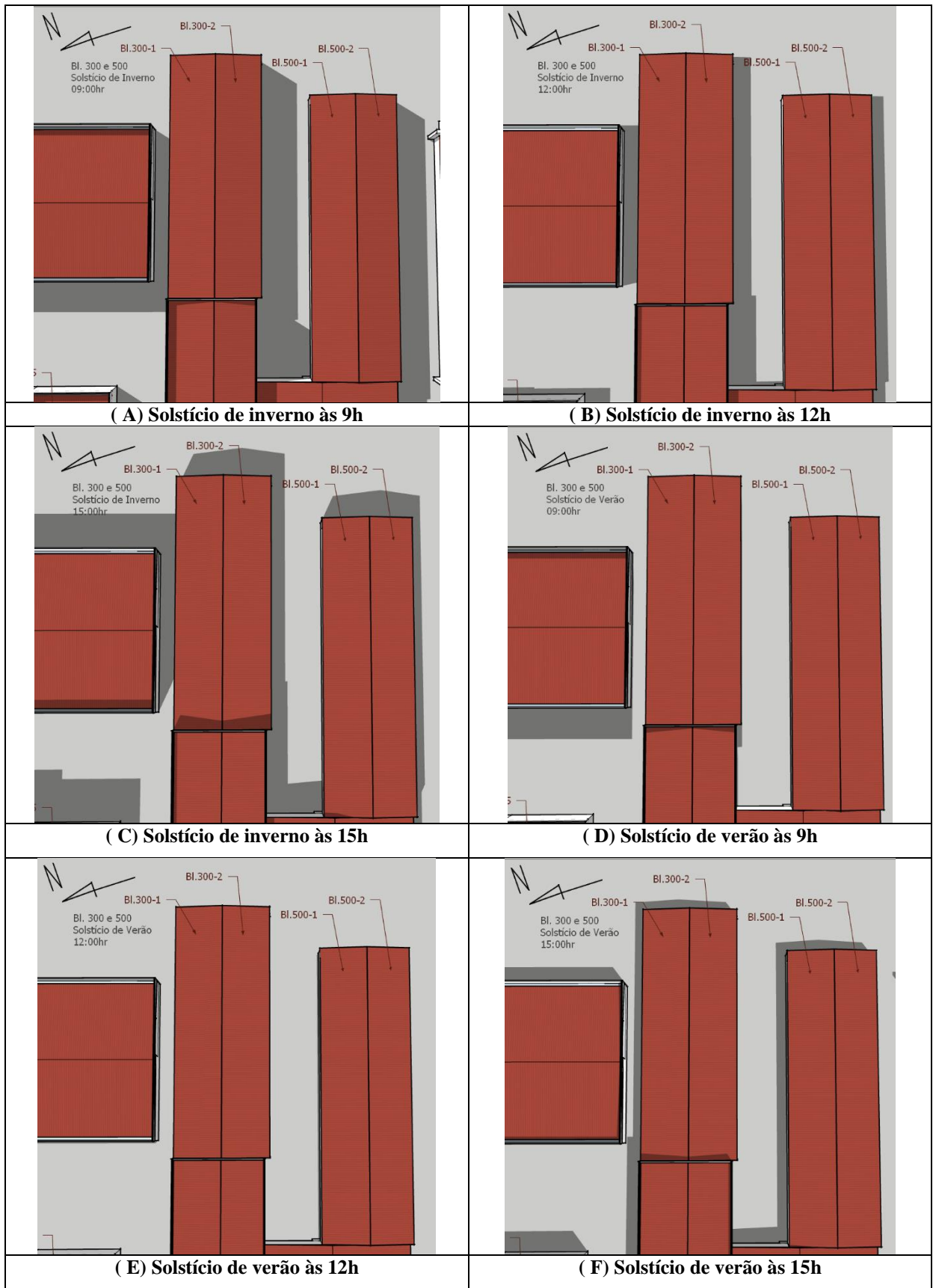
Anexo M - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Galpão Tecnológico durante os solstícios de verão e inverno – Campus Formosa



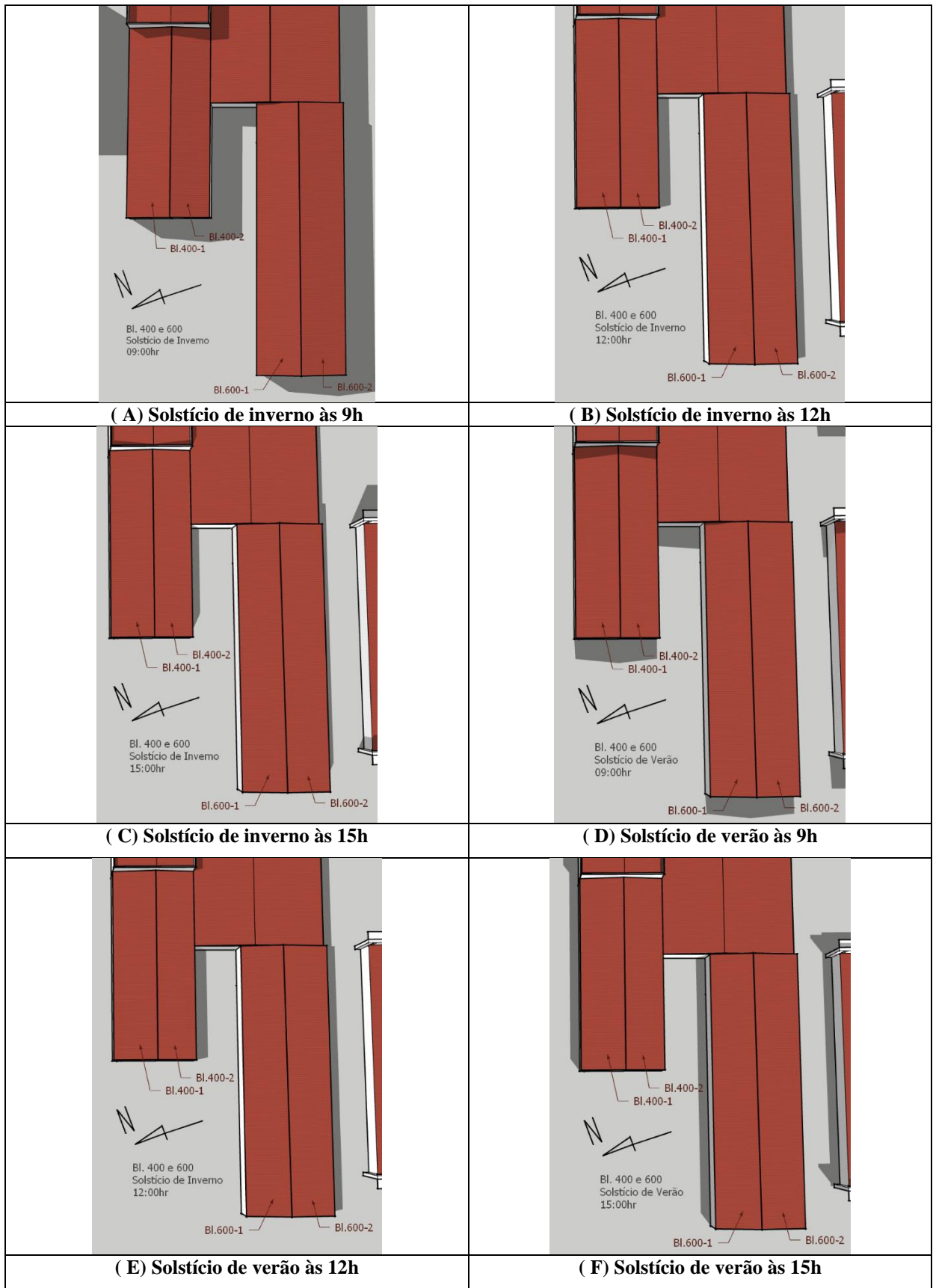
Anexo N - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 100 e 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Inhumas



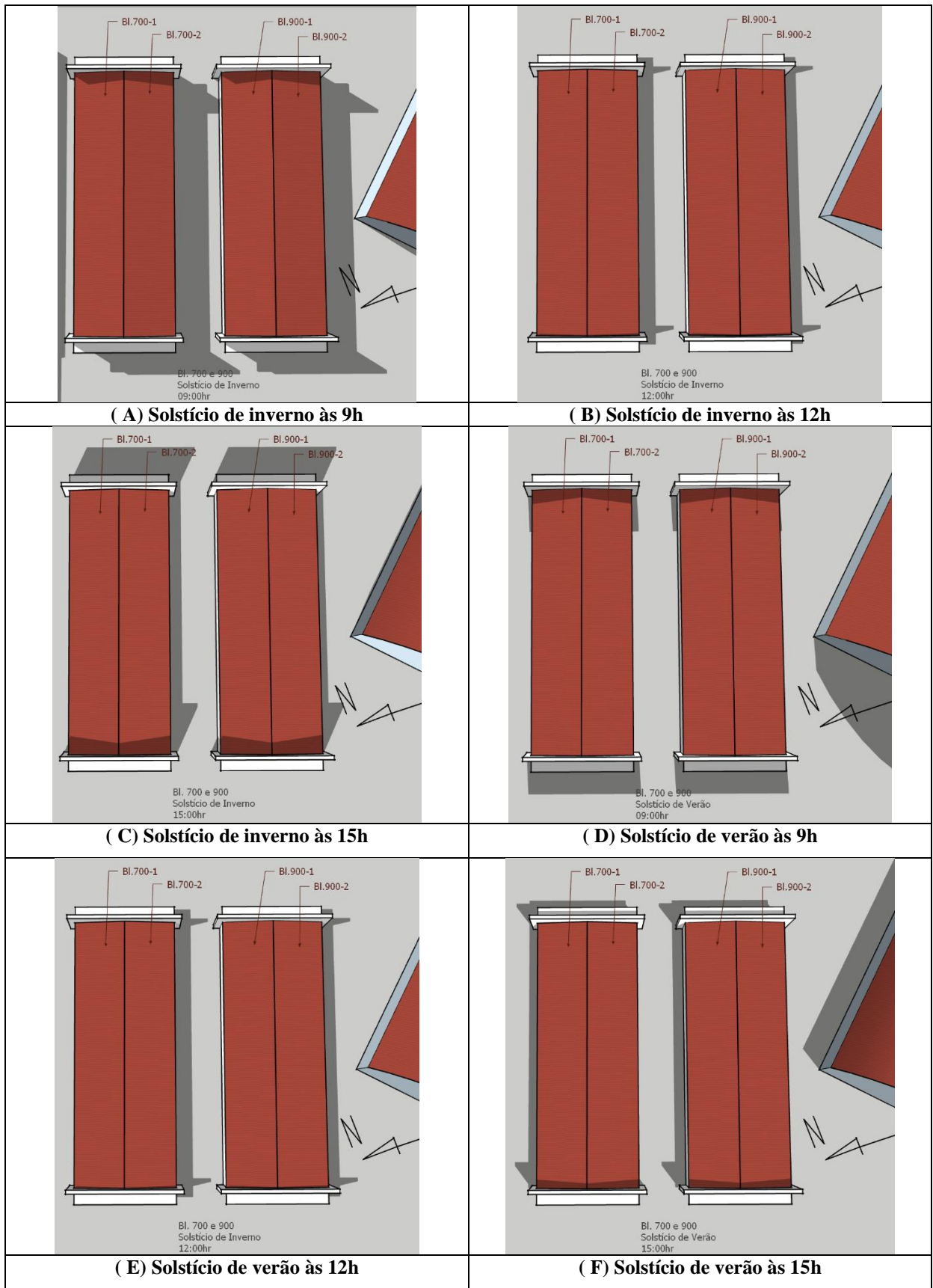
Anexo O - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 300 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Inhumas



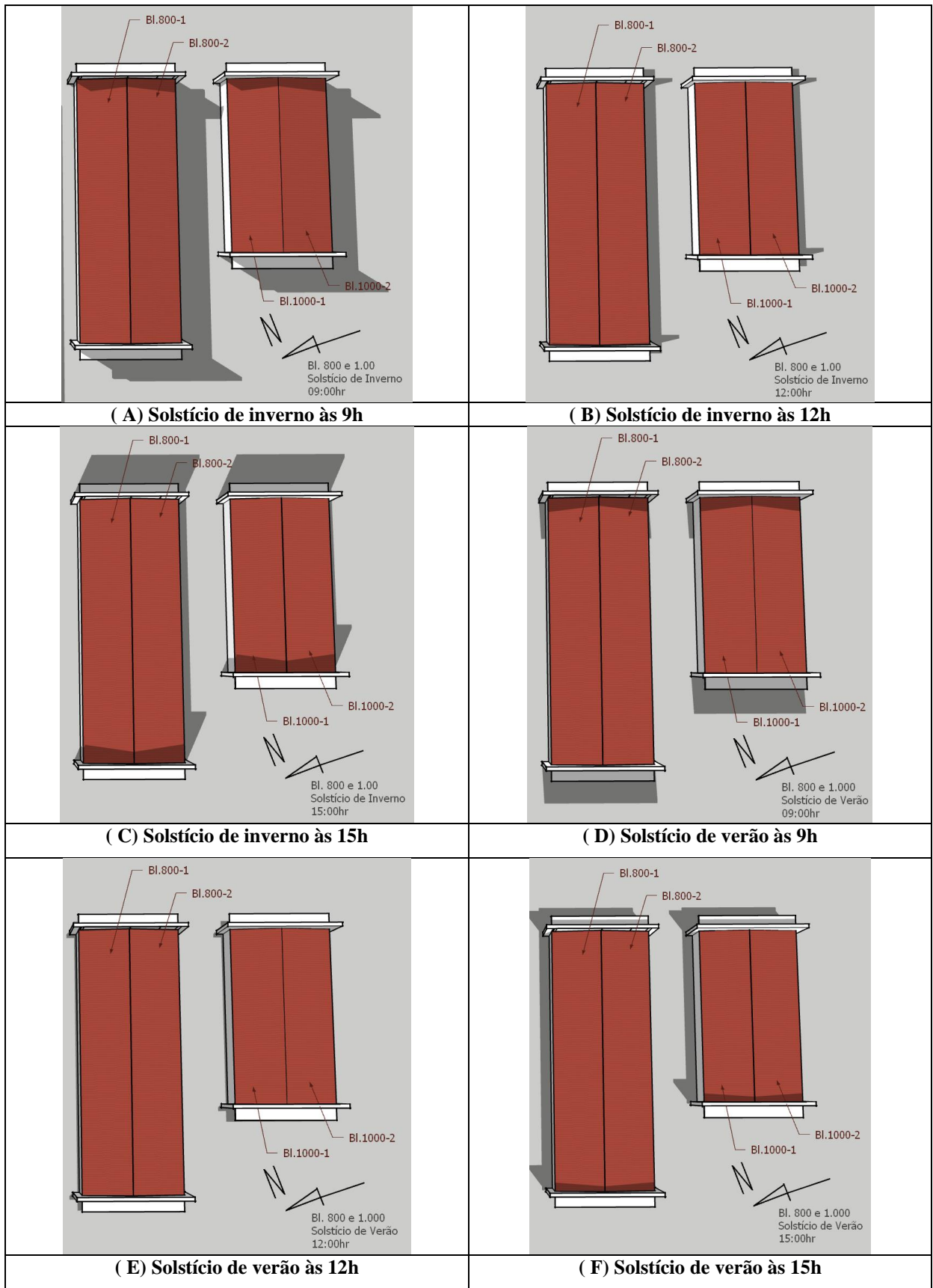
Anexo P - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 400 e 600 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Inhumas



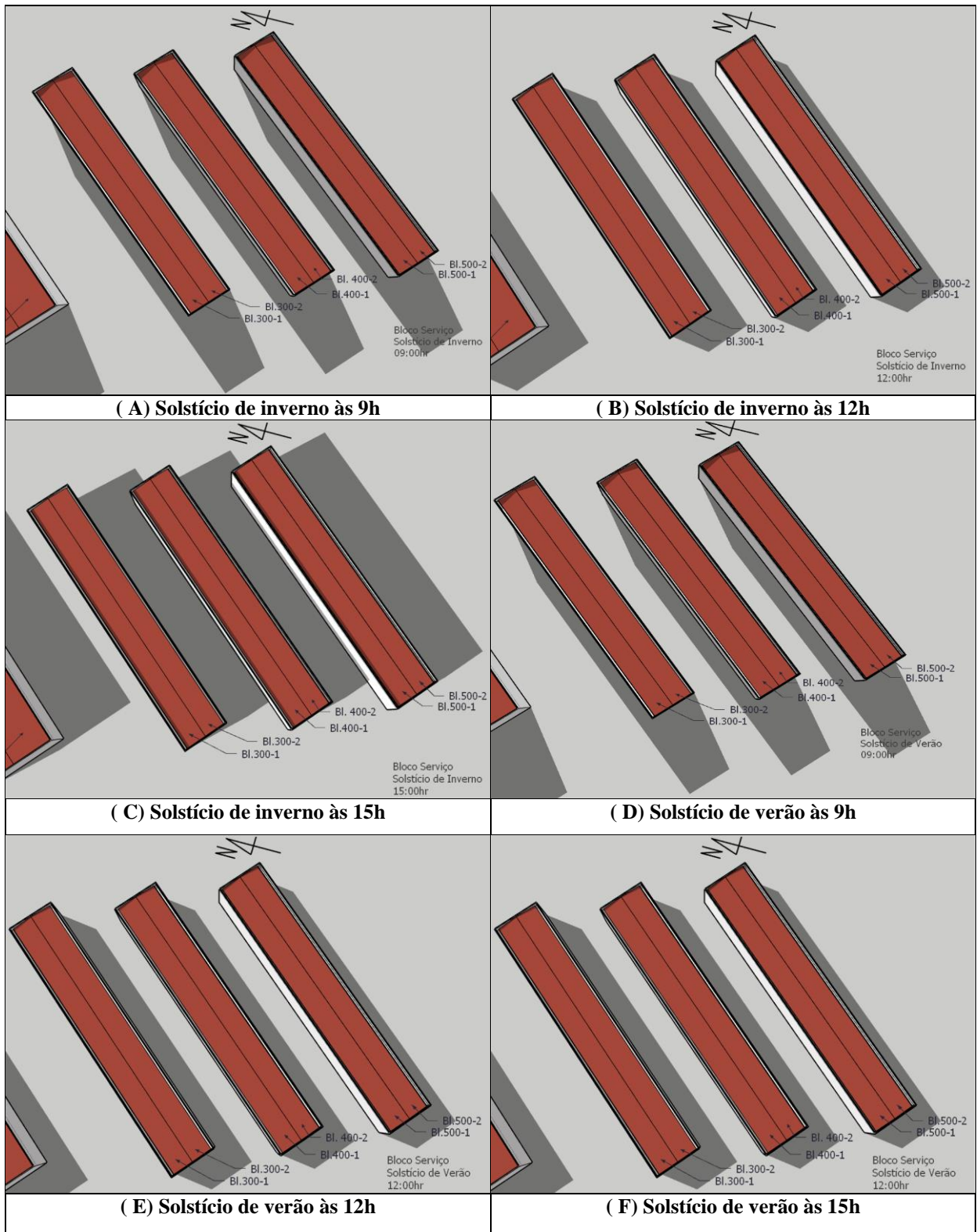
Anexo Q - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 700 e 900 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Inhumas



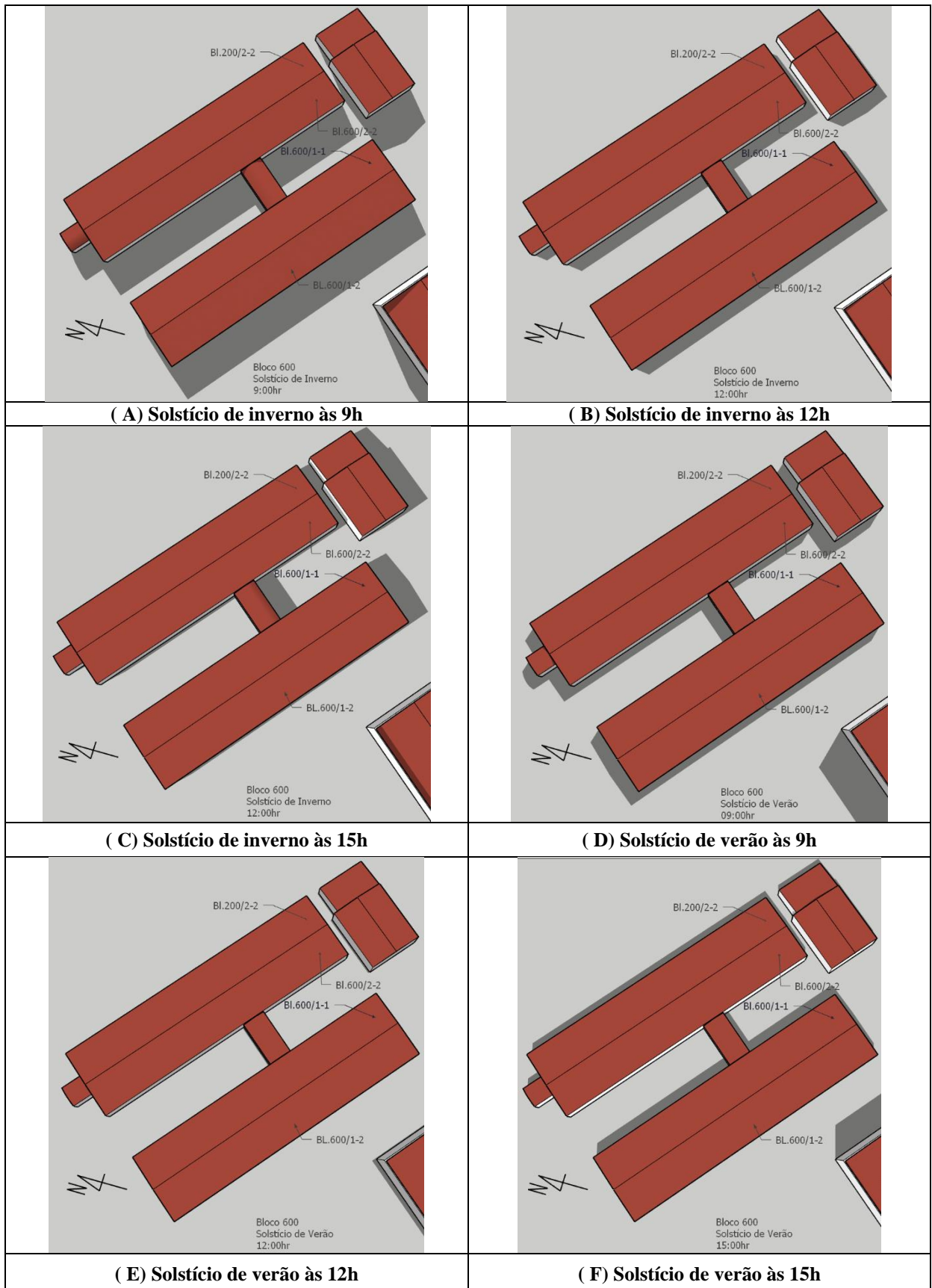
Anexo R - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 800 e 1.000 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara



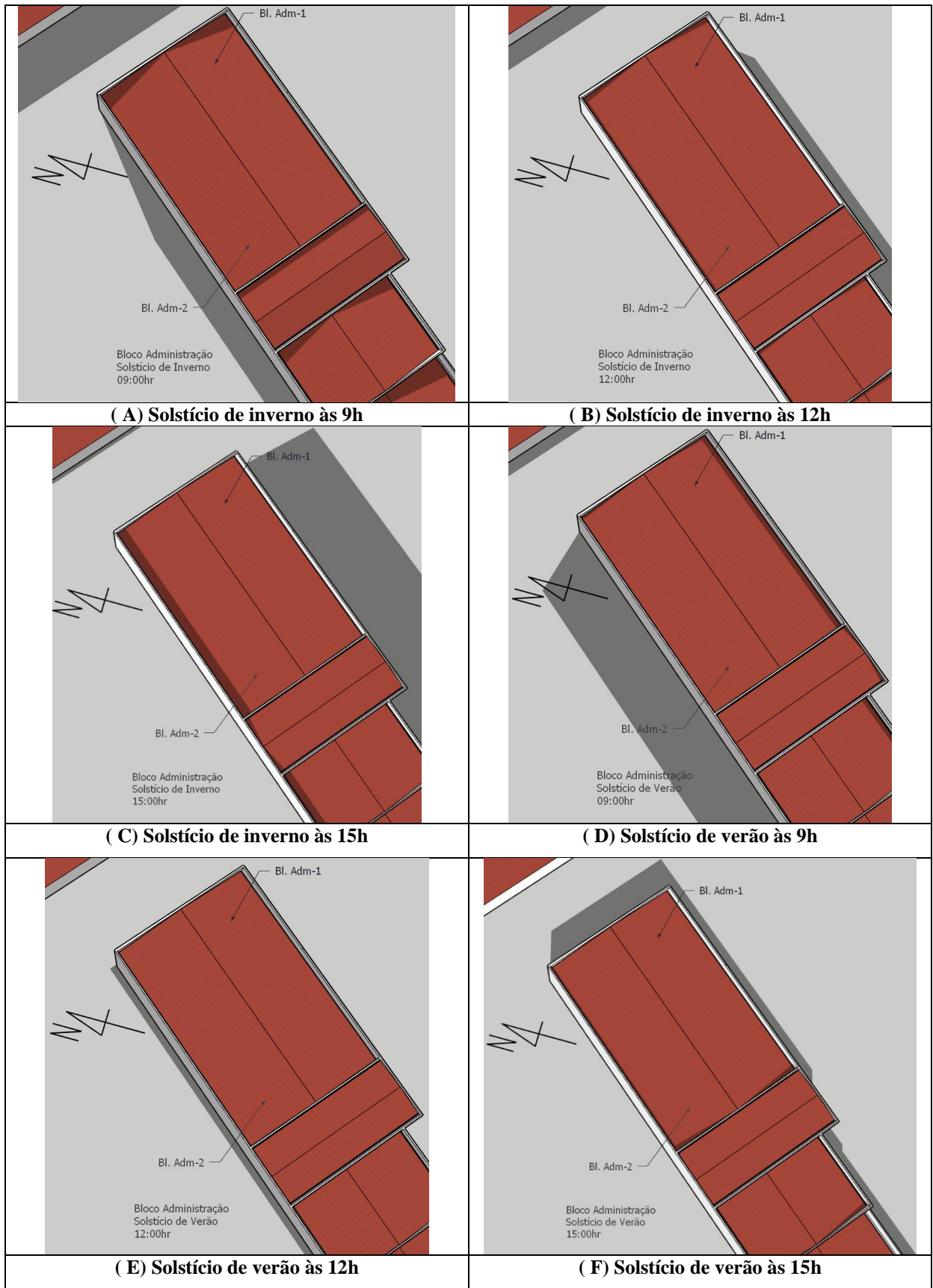
Anexo S - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 300, 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara



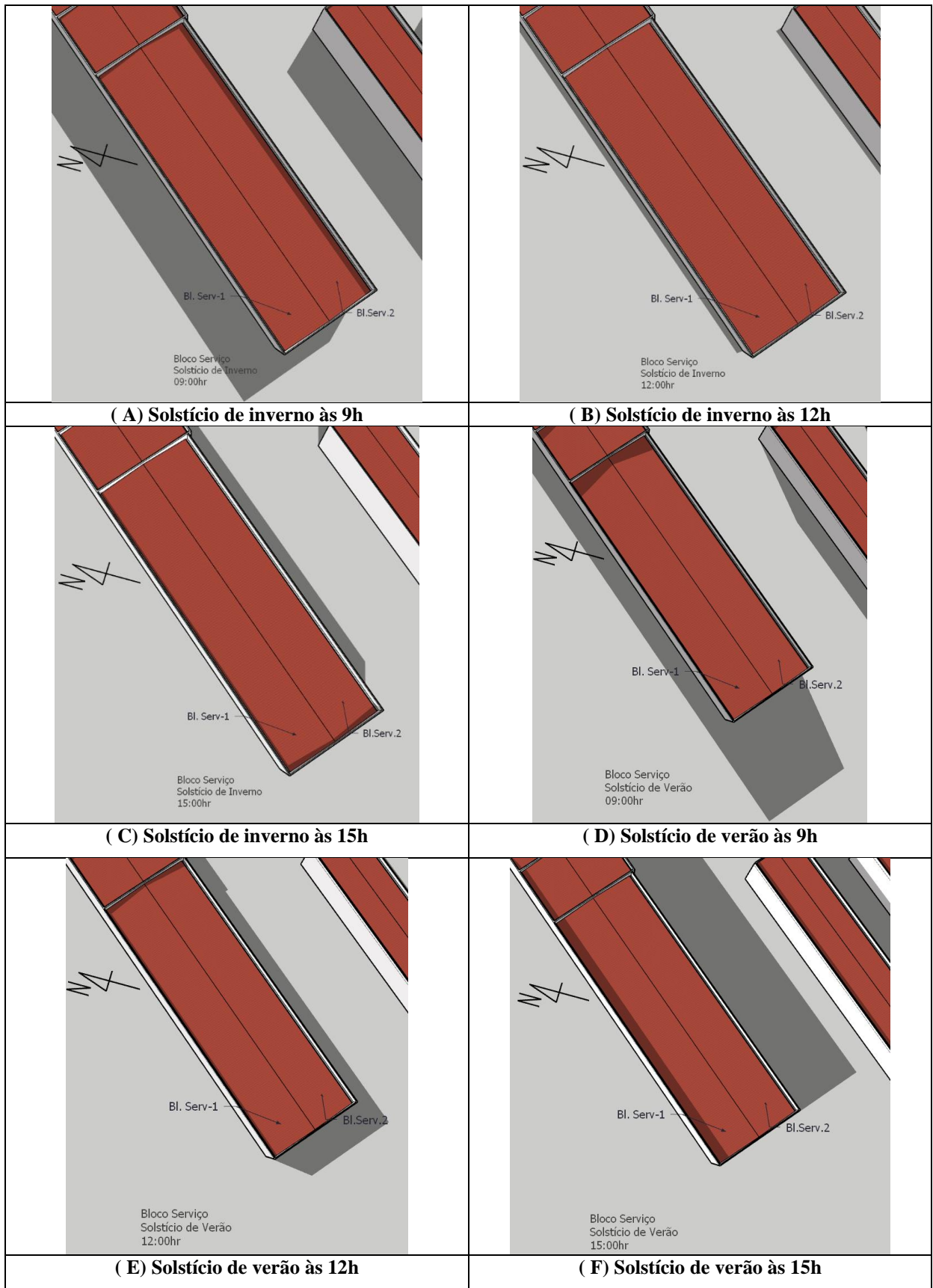
Anexo T - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 600 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara



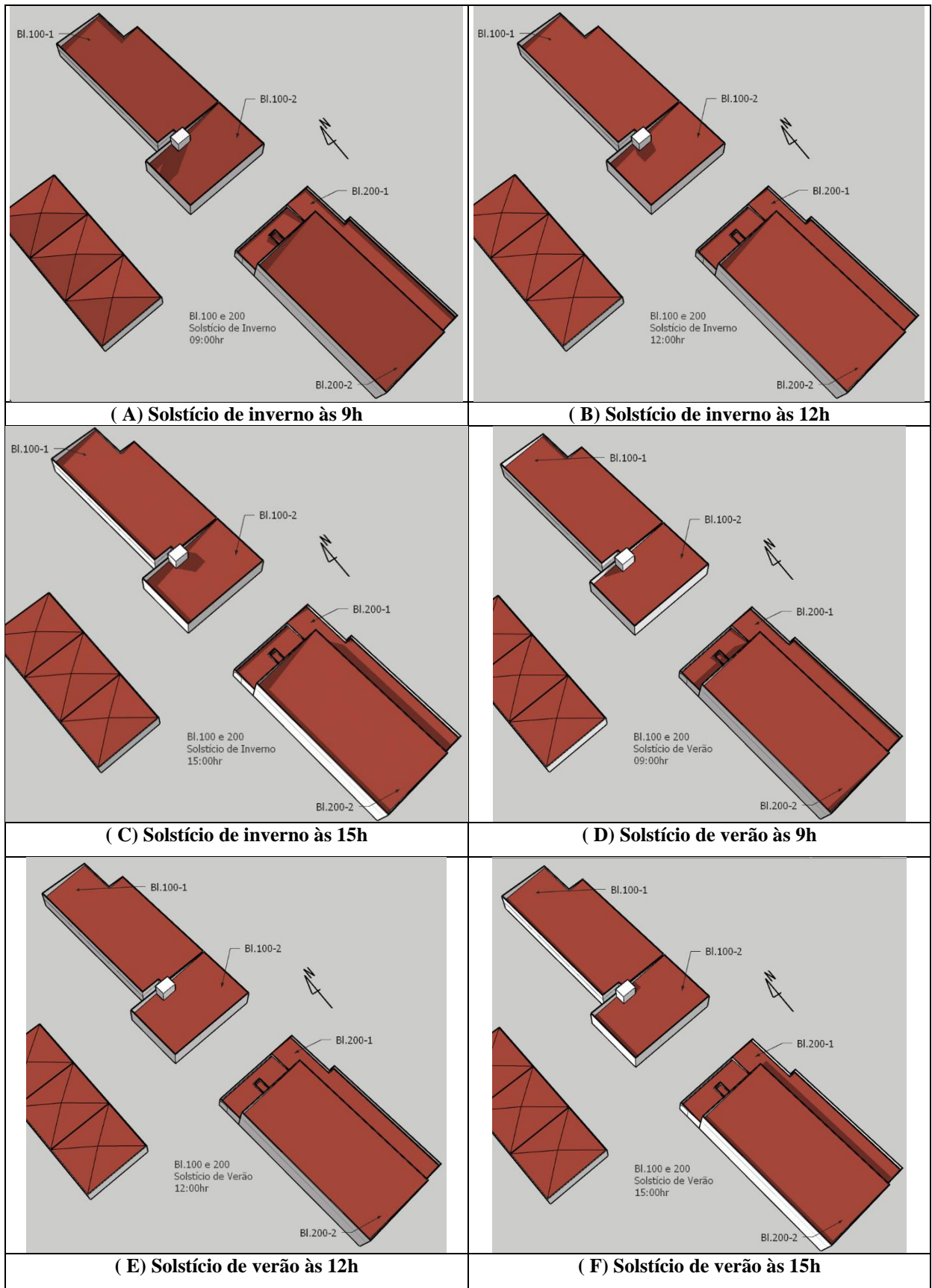
Anexo U - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Administração durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara



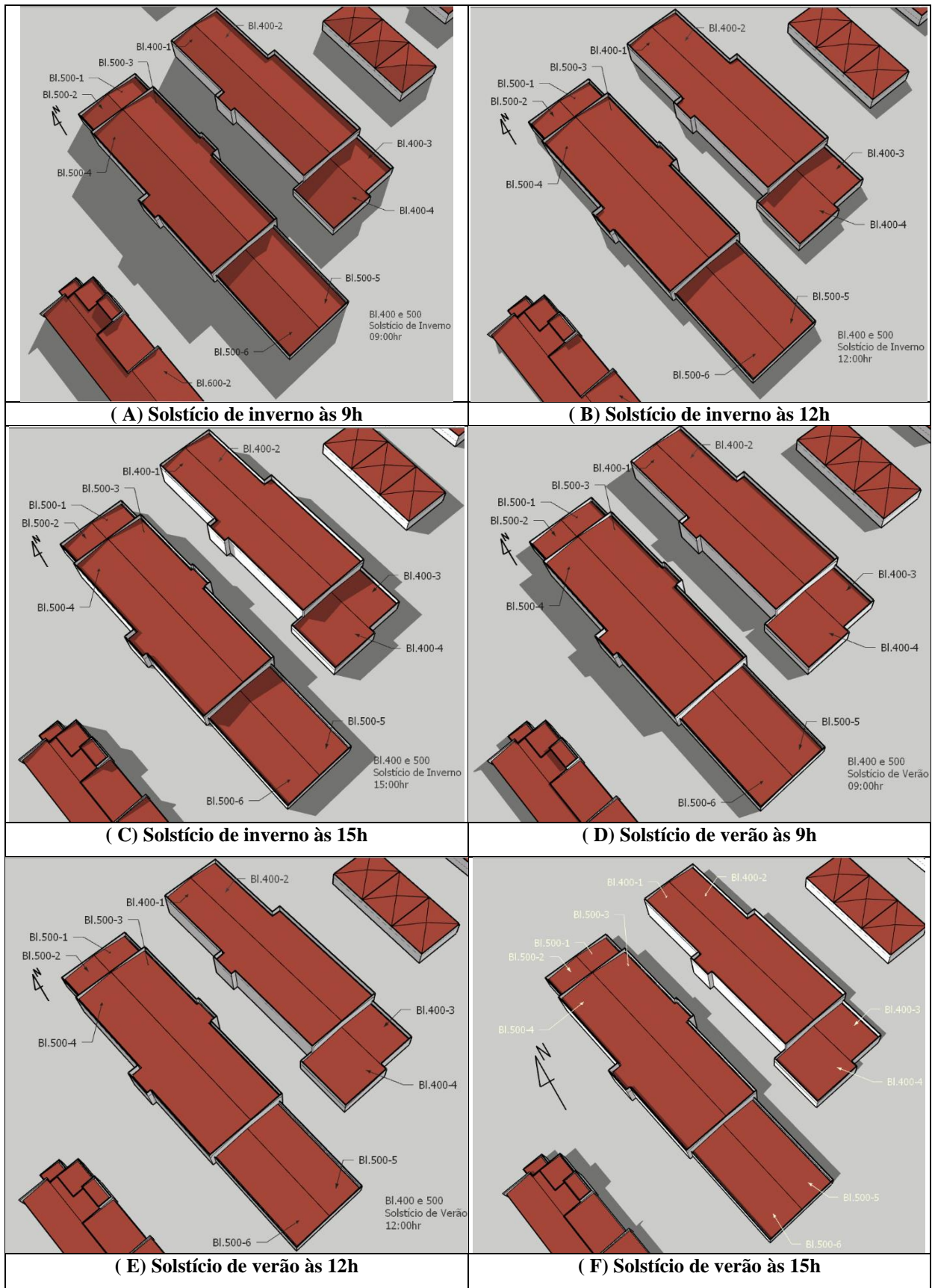
Anexo V - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco Serviço durante os solstícios de verão e inverno – Campus Itumbiara



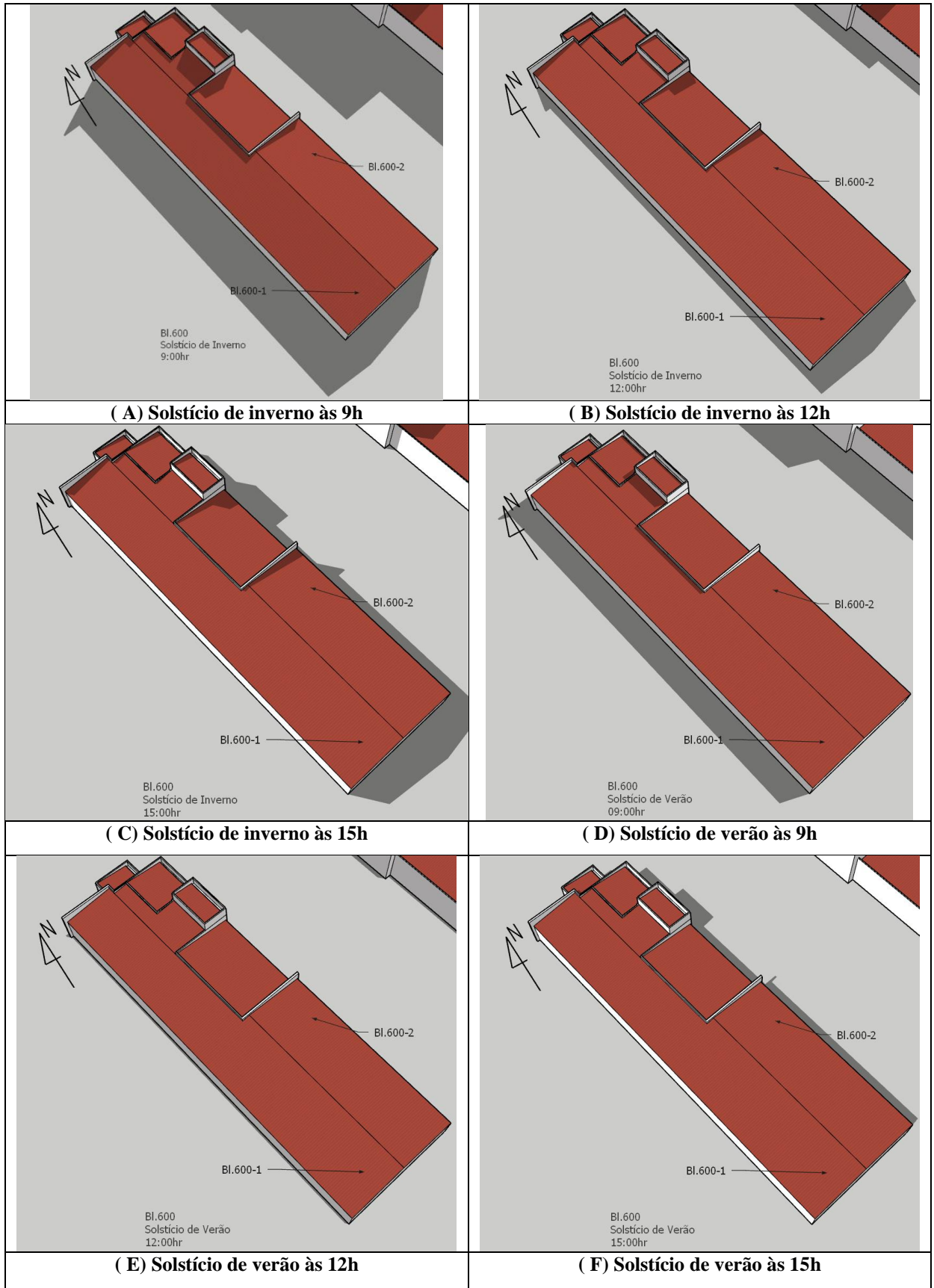
Anexo W - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 100 e 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Jataí



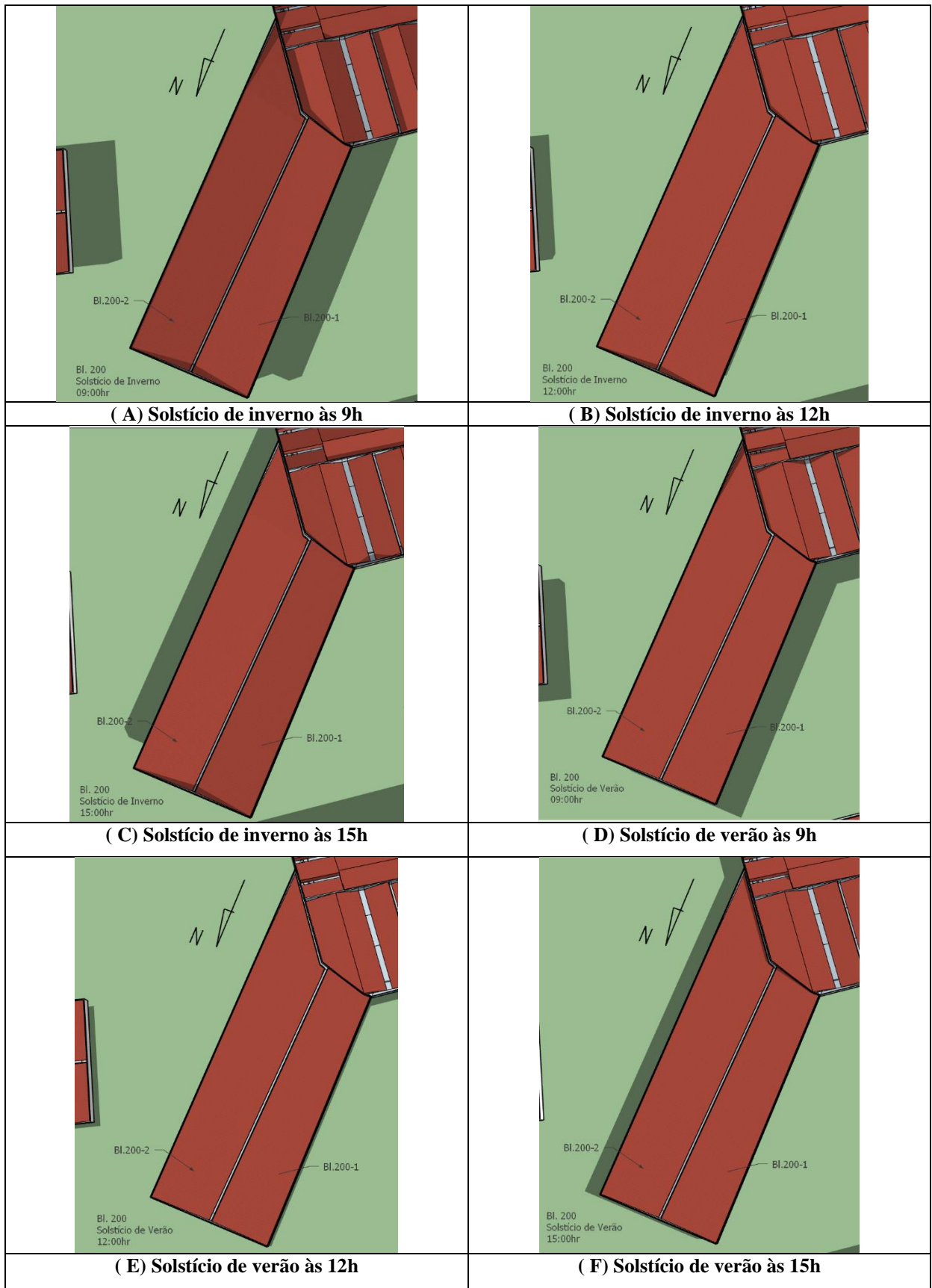
Anexo X - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Jataí



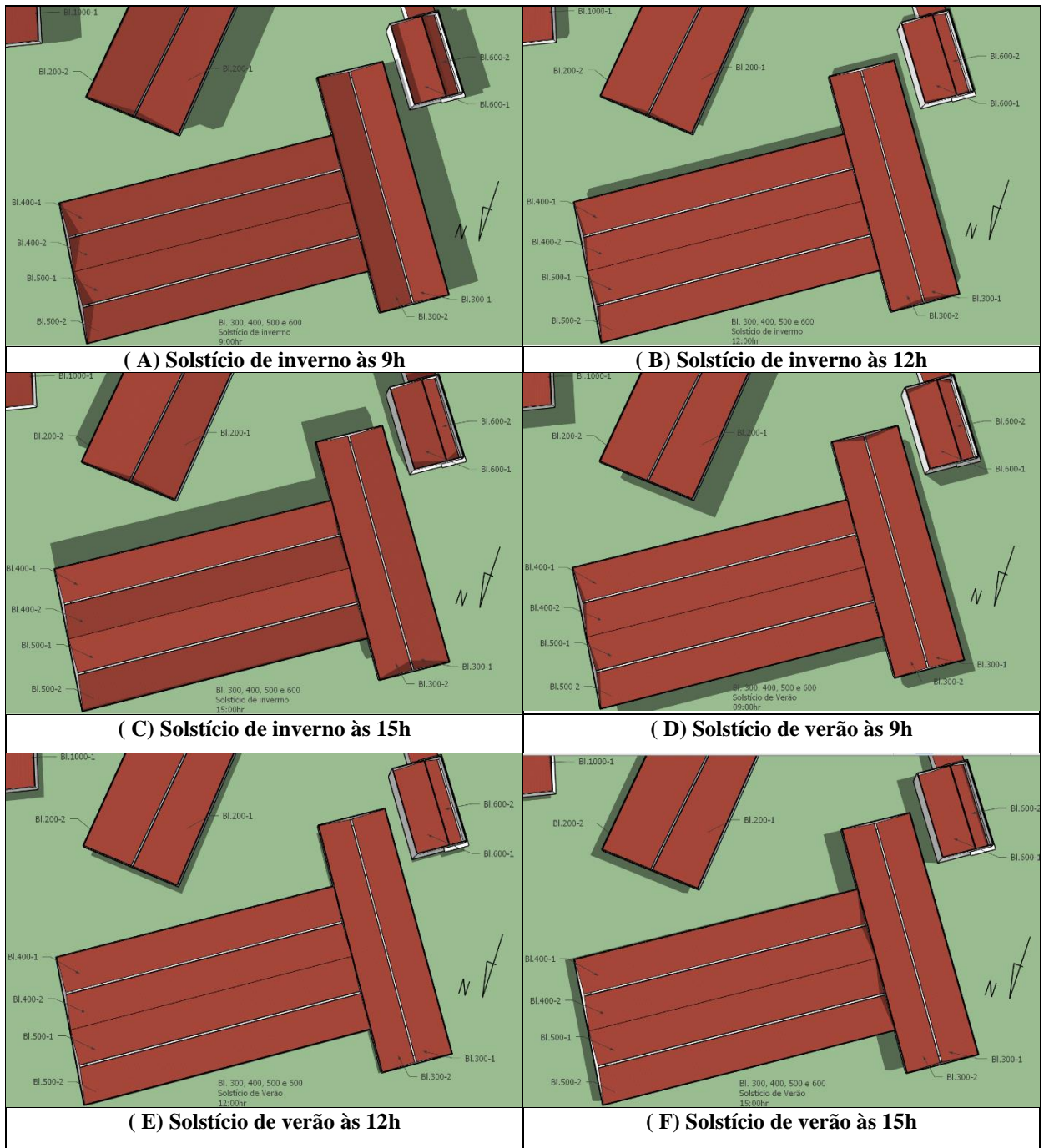
Anexo Y - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 600 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Jataí



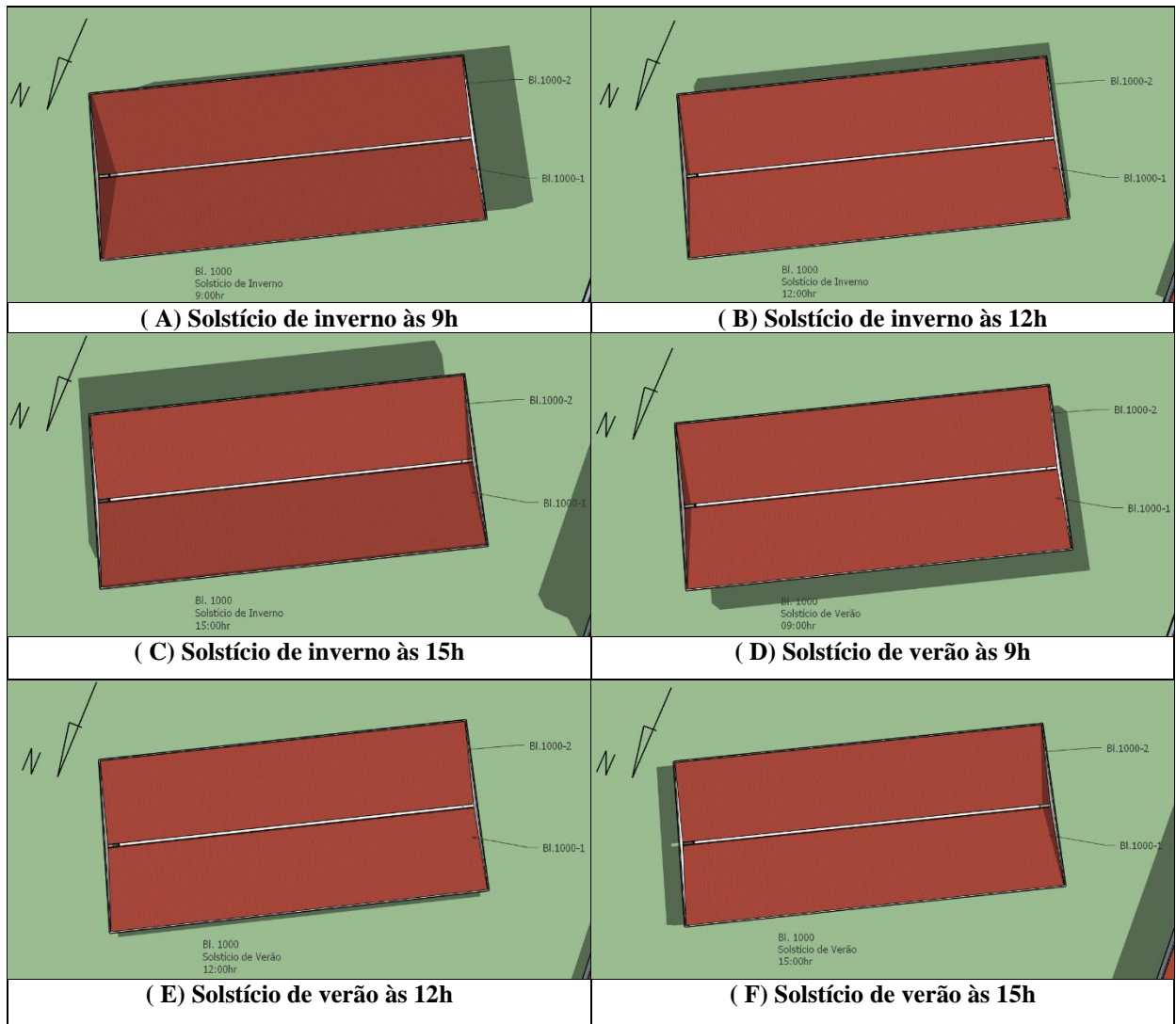
Anexo Z - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 200 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Luziânia



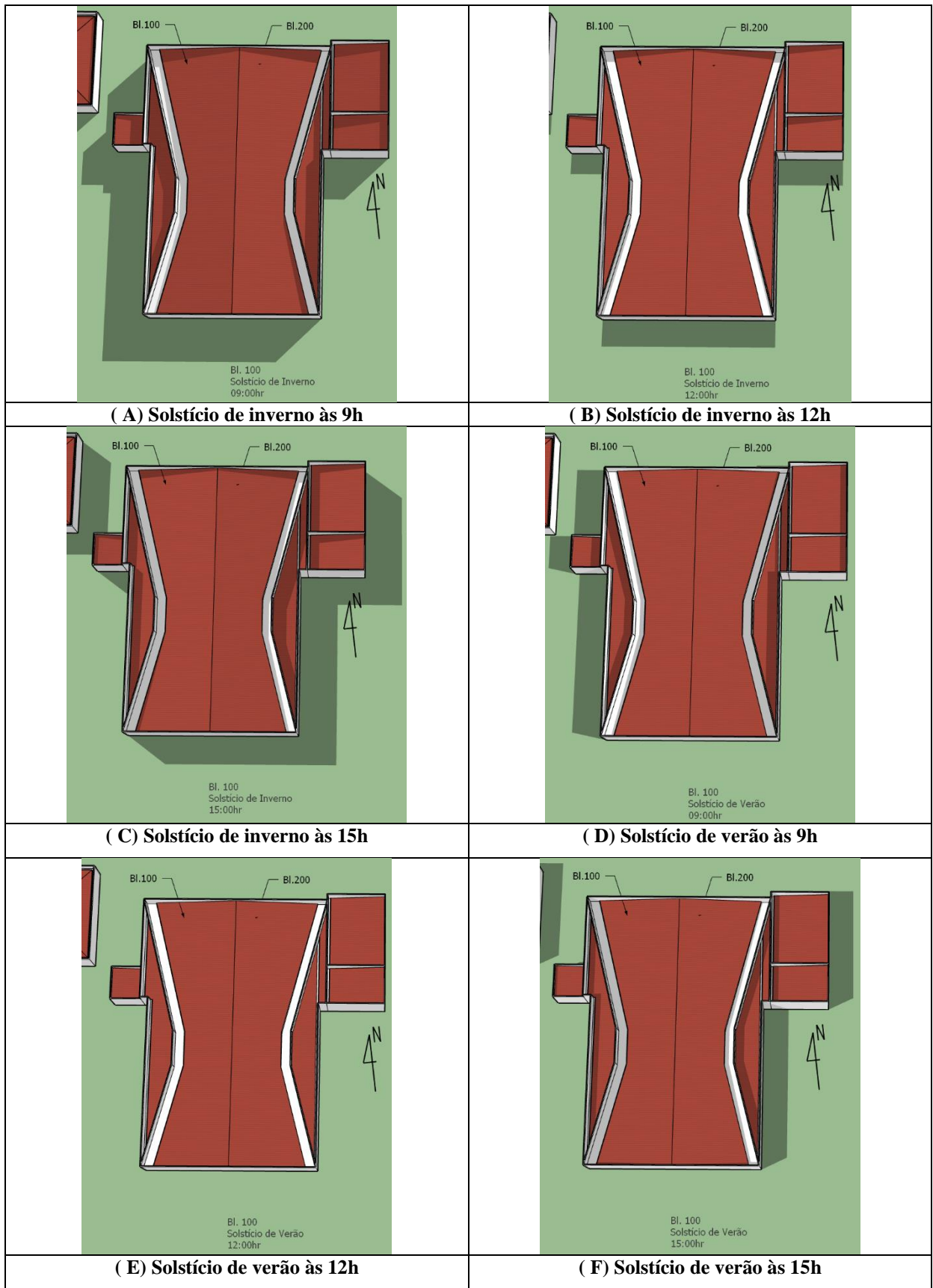
Anexo AA - Representação gráfica do sombreamento solar sobre os Blocos 300, 400 e 500 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Luziânia



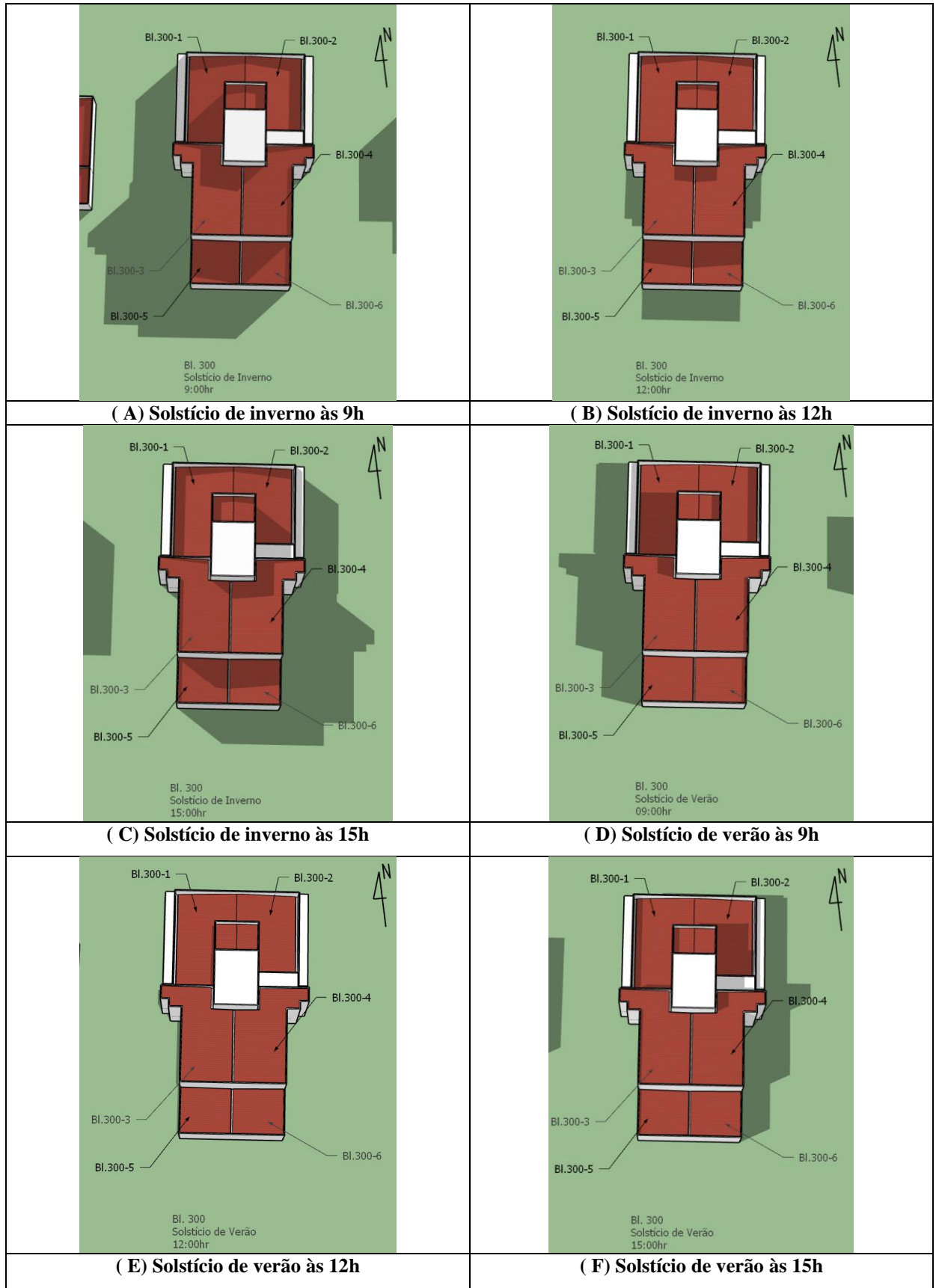
Anexo BB - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 1.000 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Luziânia



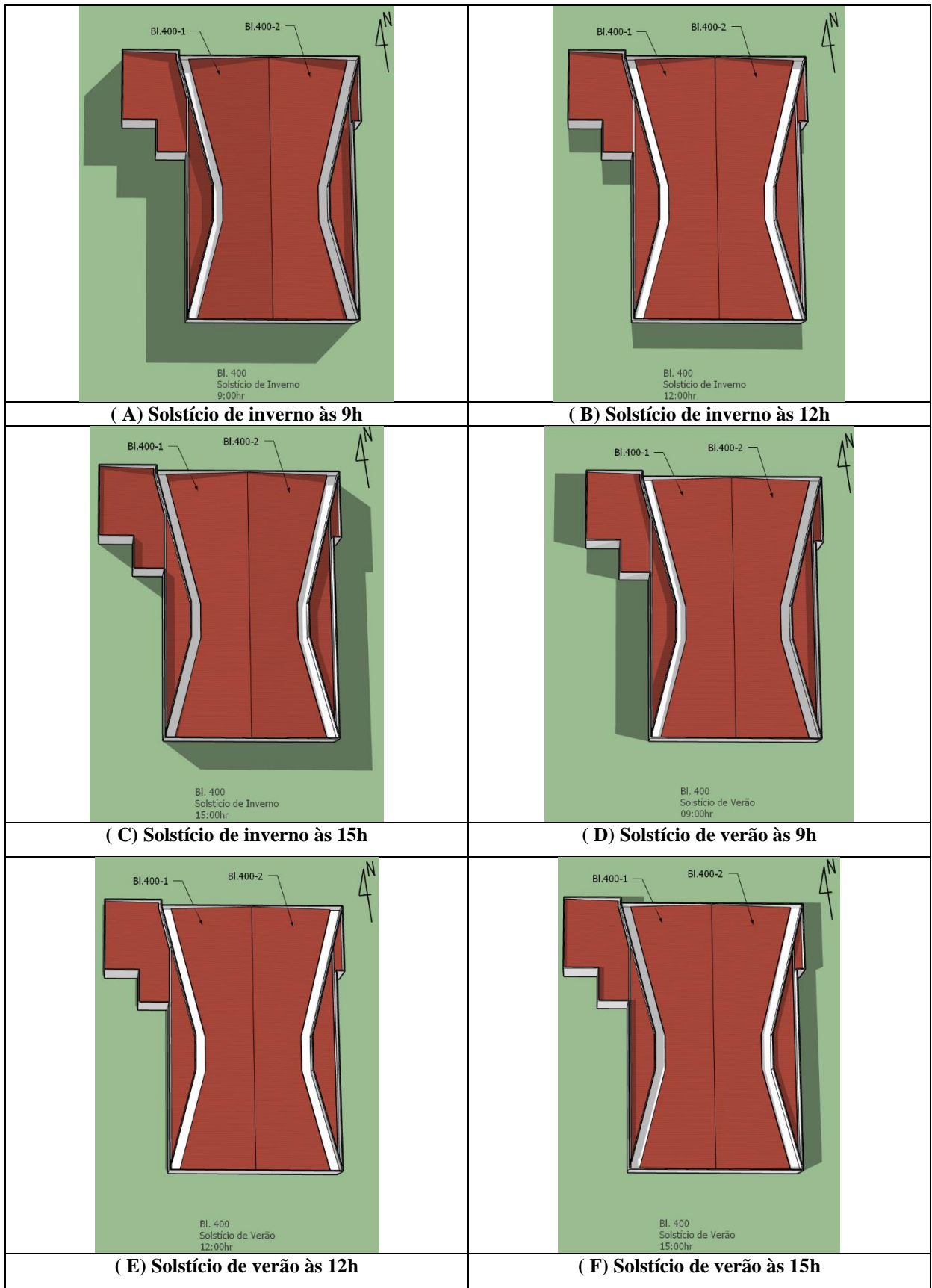
Anexo CC - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 100 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Uruaçu



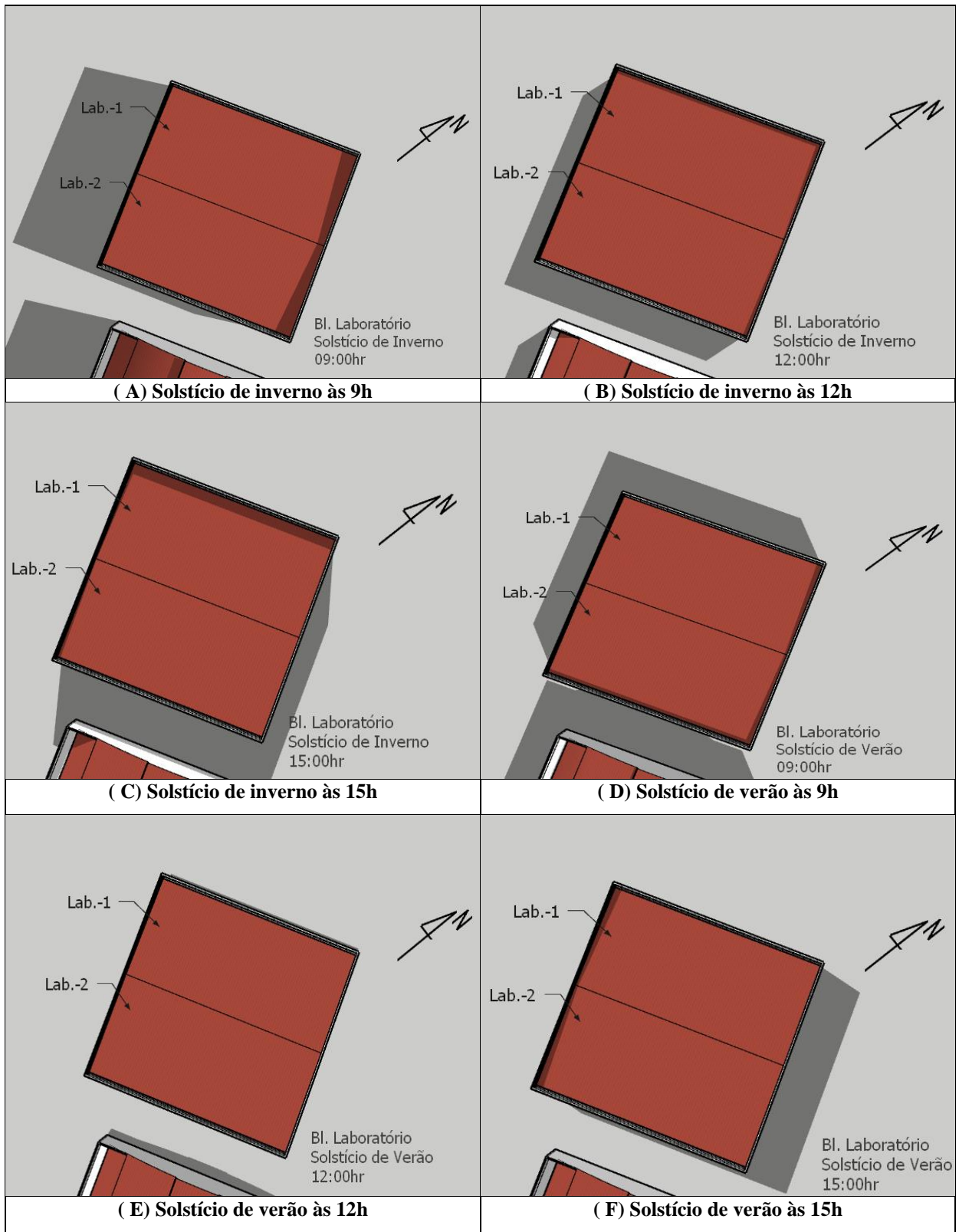
Anexo DD - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 300 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Uruaçu



Anexo EE - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Bloco 400 durante os solstícios de verão e inverno – Campus Uruaçu



Anexo FF - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Laboratório durante os solstícios de verão e inverno – Câmpus Valparaíso



Anexo GG - Representação gráfica do sombreamento solar sobre o Blocos Serviço e Administração durante os solstícios de verão e inverno – Campus Valparaíso

