

# Análise dos Fluxos Energéticos no Laboratório Vivo Asprela + Sustentável

## **Relatório Final**

### *Descrição*

Esta publicação reflete apenas a opinião do autor. A Agência e a República Portuguesa não são responsáveis por qualquer utilização que possa ser feita da informação que contém.



## Descrição Documento

<b>Sigla do Projeto</b>	<b>Asprela + Sustentável</b>
<b>ID Acordo de Concessão</b>	
<b>Pacote de Trabalho</b>	<b>Work Package 4</b>
<b>Nível de Divulgação</b>	
<b>Parceiro Principal</b>	<b>INESCTEC</b>
<b>Versão</b>	<b>2</b>

## Histórico Documento

<b>Data</b>	<b>Autor</b>	<b>Parceiro</b>	<b>Alterações</b>
27/05/2022	Salvador Carvalhosa	INESCTEC	Criação
01/06/2022	Alexandre Lucas	INESCTEC	Revisão



## Índice

1. Introdução	4
2. Descrição detalhada	4
2.1. Caracterização e definições dos limites do sistema de energia do Laboratório Vivo	4
2.2. Análise da População residente, flutuante e padrões de mobilidade	8
2.3. Metodologia para a Estimação dos Consumos Energéticos dos Edifícios	15
2.4. Metodologia para a Estimação dos Consumos da Iluminação Pública.	17
3. Resultados Alcançados	20
3.1. Análise Geral	21
3.2. Análise Centro Hospitalar São João e IPO do Porto	29
3.3. Análise Consumos de Gás	29
3.4. Recomendações	30
4. Conclusões	31
5. Anexo I – Ferramentas utilizadas.	33
6. Referências	34



# 1. Introdução

O presente relatório integra o *Work Package 4* do projeto Asprela + sustentável e visa fazer uma caracterização energética do sistema em análise. Foram considerados como foco principal de análise, os edifícios integrantes e as suas actividades, o correspondente consumo eléctrico, os principais consumos de gás, o fluxo de pessoas, padrões de mobilidade e iluminação pública. Os passos metodológicos definidos foram os seguintes:

1. Tratamento de dados georreferenciados e delimita do sistema Asprela;
2. Simulação de *baselines* para análise de necessidades energéticas de edifícios e iluminação pública. Estimativas de fluxo *inflow* e *outflow* de população e formas de mobilidade;
3. Desenvolvimento, especificação e recolha de dados de toda a zona da Asprela relativamente a consumos de electricidade e gás doméstica e privada;
4. Tratamento de dados, *feature engineering* e aplicação de *statistical learning* ao sistema em análise para identificação da importância de variáveis para o contributo no consumo de energia;
5. Análise georreferenciada dos fluxos energéticos do sistema Asprela e formulação de conclusões sobre os dados apresentados..

## 2. Descrição detalhada

### 2.1. Caracterização e definições dos limites do sistema de energia do Laboratório Vivo

No presente capítulo iremos apresentar os limites geográficos do sistema analisado no projeto Asprela + Sustentável.

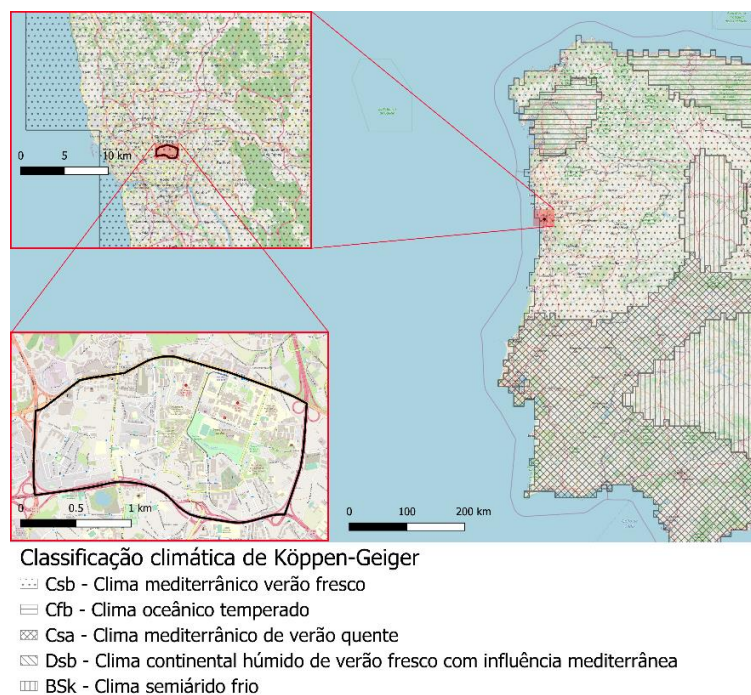
Este Laboratório Vivo irá situar-se no campus da Asprela, Freguesia de Paranhos, cidade do Porto, Portugal.



Este campus universitário é delimitado por 4 artérias rodoviárias; a norte a Estrada Interior da Circunvalação, a Este a autoestrada A4, a Sul a Via de Cintura Interna e a Oeste a Via Norte.

É possível observar a localização do sistema na Fig. 1 bem como a classificação do clima que caracteriza a zona em questão que de acordo com o Sistema Köppen-Geiger se enquadra no tipo de clima mediterrânico com verão fresco.

Esta caracterização climática é importante pois terá um impacto nos consumos energéticos do Laboratório Vivo pois, juntamente com a qualidade de construção presente, terá influência nas necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e ajudará a justificar futuras observações.



**Figura 1 – Campus Asprela, delimitado pela linha preta.**

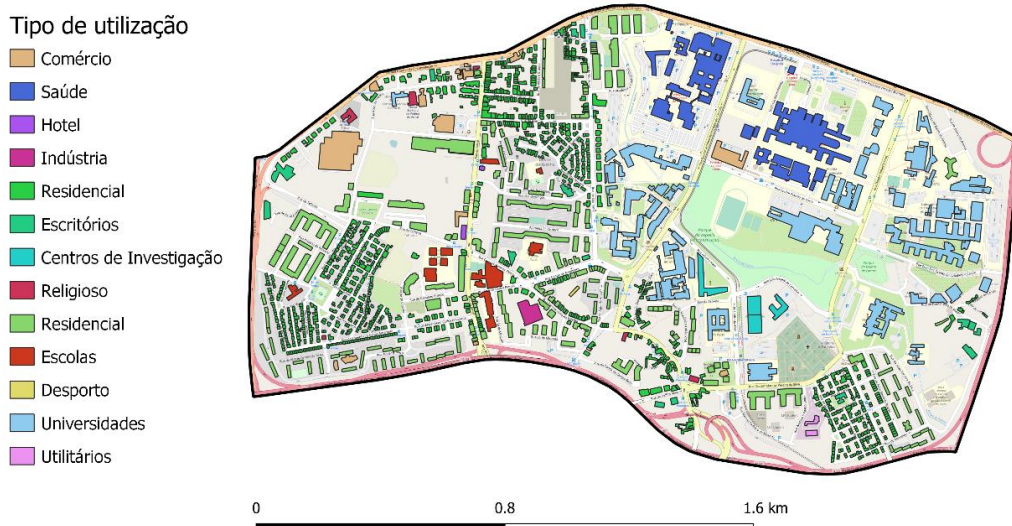
Para proceder às análises de fluxos de energia dentro do sistema em estudo e entre o sistema e o seu englobante, foi preciso primeiro caracterizar os seus componentes internos. Estes componentes internos são os edifícios, as estradas, os equipamentos e a população, permanente e flutuante, que se encontram dentro do sistema.

Para fazer esta caracterização foi utilizado o software de edição, análise e tratamento de dados georreferenciados QGIS 3.4. que permite associar à análise, uma vertente geográfica para uma melhor visualização do sistema, sendo que numa primeira fase foi feita a classificação dos edifícios no interior do campus da Asprela, conforme o seu tipo de utilização.



Esta classificação pode ser consultada na Figura 2, onde, recorrendo ao software QGIS, os edifícios foram identificados por cor de acordo com o seu tipo de utilização final, como por exemplo Universidades, Hospitais, Escritórios, etc.

Esta classificação atribui à análise de fluxos mais uma camada de diferenciação, pois os perfis de consumo dos edifícios estão associados ao seu tipo de utilização.



**Figura 2 – Visualização dos Edifícios identificados, categorizados por tipologia de uso**

Tendo isto em conta, foi possível identificar 1411 edifícios distintos dentro das fronteiras do Laboratório Vivo, no entanto, e de acordo com os Censos 2011 [1] existiam à data 1815 edifícios dentro da área geográfica em questão.

Esta diferença de 404 edifícios, deve-se à forma em como os edifícios foram representados no QGIS; os edifícios são representados por polígonos criados pelo utilizador. Para tal, associa-se ao projeto uma camada geográfica, onde é possível visualizar os edifícios através de imagens de satélite, ou outro tipo de representação. Posteriormente definem-se os polígonos numa camada superior e distinta, um a um. Deste processo ocorre uma contagem por defeito, pois um prédio com 5 entradas será contabilizado como 5 edifícios nos Censos, mas como apenas um no QGIS, pois através da vista aérea é possível apenas identificar um edifício. No entanto esta diferença não terá impacto na análise de fluxo energético, pois ao considerar que um determinado número de edifícios adjacentes é apenas um edifício, não tem impacto no cálculo da volumetria total do mesmo.

Para esta análise, também se identificaram os quilómetros totais de vias e estradas dentro do Laboratório Vivo. Este parâmetro é importante, uma vez que permite numa análise distinta, estimar os consumos de energia elétrica associados a iluminação pública.

O processo de identificação de estradas e vias é semelhante ao processo de identificação de edifícios. Foi preciso sobrepor a uma camada de imagens de satélite, uma camada que permite a criação de linhas.

Este processo permitiu identificar um total de 37 km de estradas e caminhos pedonais que pode ser observado na Figura 3.



**Figura 3 – Visualização das estradas e vias identificadas**

O próximo passo, foi caracterizar os edifícios de acordo com a sua área de implantação, altura, número de pisos, tipo de utilização e ano de construção, esta caracterização é necessária para fazer a análise de necessidades energéticas dos edifícios.

O consumo final de energia pode ser dividido em 2 sectores, residencial e serviços; e a energia consumida por cada sector pode ser associada a diferentes utilizações.

De acordo com a International Energy Agency [2] a proporção de consumo total por utilização final para cada sector tem a seguinte distribuição se utilizarmos o ano de 2019 como referência:

- . Sector Residencial: 53,4% eletrodomésticos; 44,8% aquecimento; 1,8% arrefecimento.
- . Sector Serviços: 39,0% aquecimento; 38,1% arrefecimento; 22,9% iluminação.

Esta informação será posteriormente cruzada com a informação adquirida através da análise dos consumos de energia dentro do Laboratório Vivo.

## 2.2. Análise da População residente, flutuante e padrões de mobilidade

Para caracterizar os fluxos de energia de forma que representem fiavelmente os fluxos de energia no Laboratório Vivo, foi definido que seria preciso caracterizar os fluxos de população diária dentro do mesmo. Isto deve-se ao facto de que o consumo de energia numa dada área geográfica, estar associado à quantidade de pessoas presente nessa mesma área geográfica.

Mais uma vez, recorrendo ao QGIS e à informação georreferenciada dos Censos de 2011, foi possível aferir que residem dentro das fronteiras do Laboratório Vivo cerca de 10288 pessoas.

A distribuição desta população residente é apresentada na Fig. 4 onde será possível analisar, se focos de consumo energético estão correlacionados ou não com focos de alta densidade de população residente.

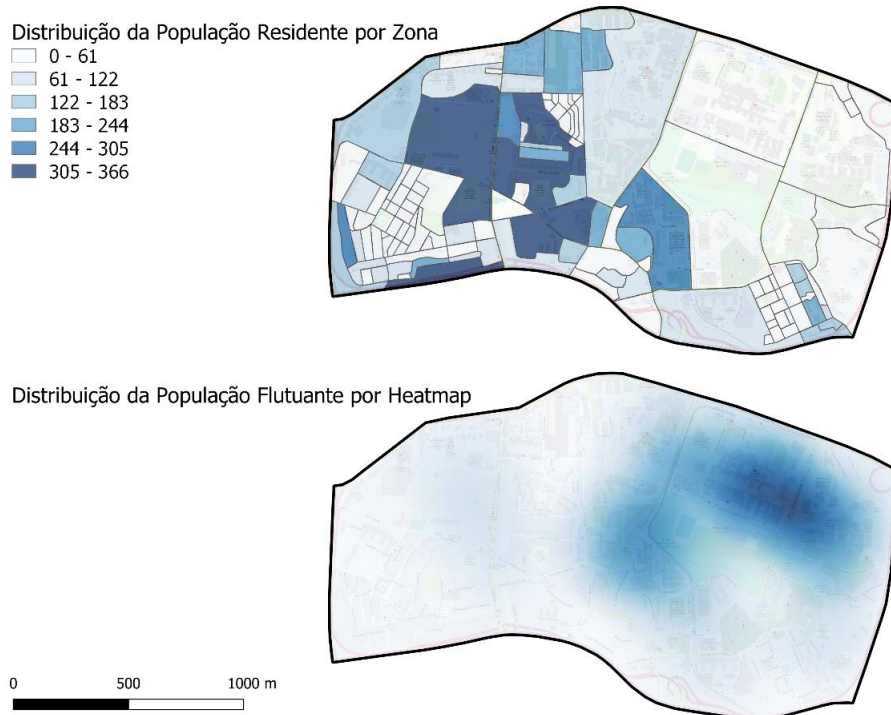
Juntamente com a análise da população residente, foi também realizada uma análise da população flutuante e a sua concentração diária no Laboratório Vivo que também pode ser consultada na Figura 4. Observa-se contudo complementariedade geográfica entre população residente e as zonas frequentadas pela população flutuante.

No que toca a população flutuante é necessário considerar que o Campus da Asprela, é uma área geográfica que condensa diversos serviços propensos à concentração de pessoas ao longo do dia, como por exemplo: o centro Hospitalar de São João (HSJ), o Instituto Português de Oncologia do Porto (IPO), as diversas Universidades como a Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP) e o Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), empresas e centros de Investigação como a UPTEC e o INESC-TEC.

A presença destas instituições, gera uma variação populacional diária dentro do Campus, que tem que ser considerada quando se pretende realizar uma análise de fluxos energéticos.







**Figura 4 – Número de residentes por zona geográfica no Campus da Asprela**

De acordo com os dados da DGEEC [3], foi possível estimar o número de alunos inscritos nas 12 Universidades que têm as suas instalações no Pólo da Asprela.

Estas 12 instituições são as seguintes:

- Faculdade de Ciências da Nutrição da UP – 510 alunos;
- Faculdade de Engenharia da UP – 7407 alunos;
- Faculdade de Economia da UP – 2963 alunos;
- Faculdade de Desporto da UP – 1344 alunos;
- Faculdade de Medicina Dentária da UP – 463 alunos;
- Faculdade de Medicina da UP – 2561 alunos;
- Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da UP – 1573 alunos;
- Instituto Superior de Engenharia do Porto – 6498 alunos;
- Escola Superior de Enfermagem do Porto – 1678 alunos;
- Escola Superior de Saúde do Porto – 2424 alunos;
- Escola Superior de Educação do Porto – 1866 alunos;



· Universidade Portucalense do Infante D. Henrique – 2506 alunos.

Perfazendo um total de 31 793 alunos, que irão ser considerados população flutuante, caso se despreze que uma pequena percentagem será também residente na mesma área geográfica.

Outras duas instituições, situadas dentro da área geográfica do Campus da Asprela, com afluências diárias de pessoas relevantes para a nossa análise são o HSJ e o IPO.

Estas duas instituições disponibilizam nos seus relatórios anuais de contas, informação detalhada sobre o número de utentes e profissionais que frequentam e trabalham, respetivamente nas duas instituições, e através destes números é possível calcular uma média de afluência diária.

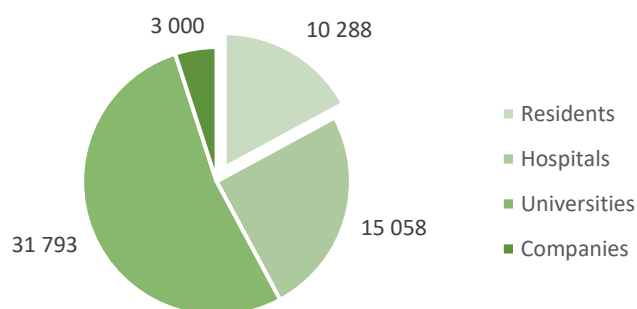
Em relação ao Hospital São João, foi possível aferir para o ano de 2019 uma afluência média diária de 11643 pessoas [4], este número divide-se entre 5283 utentes e 6360 funcionários, não existindo informação detalhada sobre os horários dos profissionais, assume-se que o funcionamento é semelhante a uma empresa tradicional, observando-se a deslocação às instalações da totalidade dos funcionários pelo menos uma vez por dia.

Aplicando uma análise idêntica aos relatórios do Instituto Português de Oncologia do Porto [5], é possível aferir uma afluência média diária para o ano de 2019 de 3415 pessoas, este número divide-se em 1178 utentes e 2237 funcionários, assumindo as mesmas premissas mencionadas para o caso do Hospital São João.

Considerando então a afluência média diárias das duas instituições ,podemos dizer que em 2019 observou-se em média um acréscimo de 15058 pessoas no interior do Campus da Asprela por dia graças a estas duas instituições.

Na Figura 5 é possível consultar como se dividem as componentes de População Residente e Flutuante sendo que na população flutuante se incluem as pessoas que frequentam os Hospitais e Universidades.





**Figura 5 – População Residente e Flutuante– Média Diária no ano 2019**

Este fluxo populacional diário pode ser dividido em três grupos, pessoas que se deslocam via metro, via autocarro e via transporte privado (i.e., carro, mota, bicicleta, etc.).

Em relação ao metro, o Campus da Asprela é servido por três estações – Pólo Universitário, I.P.O e Hospital São João – sendo que a última representa a última paragem da linha em questão pelo que todos os passageiros têm que desembarcar. A estação imediatamente anterior à estação Pólo Universitário é a estação de Salgueiros.

Considerando tal facto, assume-se que a maioria dos passageiros que entram no Metro na estação de Salgueiros, no sentido Pólo Universitário, têm como destino final o Campus da Asprela negligenciando a percentagem de pessoas que fazem este percurso para ligar a outros serviços de transporte.

Na Tabela 1 pode-se observar a média de passageiros que transita entre estas 4 paragens ao longo do ano de 2019 sendo que os dados apresentados foram adquiridos na página de internet do Metro do Porto [4] consultando os relatórios anuais.

**Tabela 1 – Média de passageiros no Metro ao longo do ano no Campus da Asprela**

2019		Janeiro		Fevereiro		Agosto		Dezembro	
A	B	Média Global		Média Global		Média Global		Média Global	
		A-B	B-A	A-B	B-A	A-B	B-A	A-B	B-A
Salgueiros	Pólo Universitário	234 644	218 168	265 663	248 183	150 041	132 514	284 356	275 259
Pólo Universitário	I.P.O	178 814	173 347	196 640	190 756	118 383	111 865	212 736	214 925
I.P.O	Hospital São João	84 624	97 571	91 403	105 331	63 019	74 101	95 702	116 569
Média Diária (Ano)		Média Diária		Média Diária		Média Diária		Média Diária	
Inflow	Outflow	Inflow	Outflow	Inflow	Outflow	Inflow	Outflow	Inflow	Outflow
8981	8491	7 709	7 168	8 728	8 154	4 929	4 354	9 342	9 043

Os dados apresentados apenas contemplam a utilização do metro numa janela temporal mensal por isso foi necessário converter estes valores em valores de utilização diária.

Para tal foi considerado que um mês tem em média 30,4375 dias, ou seja, considerou-se



que um ano tem 365,25 dias divididos igualmente por 12 meses, como demonstra a Eq. 1:

$$Dias_{Mês} = \frac{Dias_{Ano}}{Meses_{Ano}} \leftrightarrow Dias_{Mês} = \frac{365,25}{12} \quad \text{Eq. 1}$$

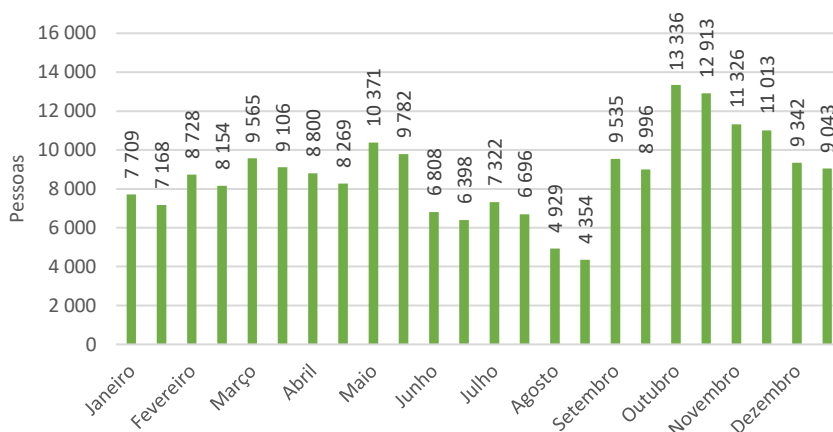
Como explicado anteriormente, se considerarmos que o ponto de fronteira do Campus Asprela é a estação de metro Pólo Universitário conseguimos obter o inflow e outflow diário de pessoas dividindo o valor mensal pelo número de dias no mês, como se demonstra na Eq. 2:

$$Inflow.Diário_{Mês.n} = \frac{Média.Global_{A \rightarrow B(Mês.n)}}{Dias_{Mês}} \quad \text{Eq. 2}$$

$$Outflow.Diário_{Mês.n} = \frac{Média.Global_{B \rightarrow A(Mês.n)}}{Dias_{Mês}} \quad \text{Eq. 3}$$

Considerando os valores médios diários de cada mês podemos calcular a média diária ao longo do ano todo, sendo que o inflow será em média de 8981 pessoas e o outflow de 8491.

Aplicando as fórmulas apresentadas em Eq. 2 e Eq. 3 iterativamente para cada mês obtemos os seguintes valores apresentados no Gráfico 1:



**Gráfico 1 – Média Diária de Inflow e Outflow de pessoas via Metro**

No que toca às deslocações por autocarro foram identificadas 10 linhas da Sociedade de Transportes Coletivos do Porto (STCP), empresa que explora atualmente o serviço de autocarros na cidade do Porto. Estas 10 linhas são rotas que servem o Campus da Asprela; são elas as linhas 4M, 11M, 204, 300, 301, 304, 600, 603, 704 e 803.

Não foi possível aferir a quantidade de pessoas que se desloca para o campus da Asprela por autocarro diariamente de forma direta como no caso do Metro do Porto. Isto deve-se ao facto que a STCP não fornece publicamente este tipo de informação, por esta razão foi preciso fazer a estimativa indiretamente recorrendo a métricas disponíveis. A STCP calculou



que a média de passageiros por veículo km serviço foi de 3,4 passageiros em 2019 [5]. Usando esta métrica, a cadência diária de autocarros e a distância percorrida no interior do Campus da Asprela, pode-se extrapolar a média diária de passageiros.

Recorrendo ao QGIS foi possível aferir o número de quilómetros que cada autocarro percorre dentro do Campus da Asprela de acordo com o percurso associado à sua linha:

. 4M	1,0 km no Campus;	. 304	1,1 km no Campus;
. 11M	2,1 km no Campus;	. 600	1,0 km no Campus;
. 204	1,7 km no Campus;	. 603	2,8 km no Campus;
. 300	4,6 km no Campus;	. 704	3,3 km no Campus;
. 301	4,5 km no Campus;	. 803	2,7 km no Campus;

Por sua vez utilizando as tabelas de horários disponibilizadas pela STCP é possível contabilizar o número de autocarros ou veículos em cada linha por dia:

. 4M	5 autocarros/dia	. 304	45 autocarros/dia
. 11M	5 autocarros/dia	. 600	59 autocarros/dia
. 204	80 autocarros/dia	. 603	53 autocarros/dia
. 300	50 autocarros/dia	. 704	55 autocarros/dia
. 301	45 autocarros/dia	. 803	40 autocarros/dia

Com recurso a estes dados é possível fazer uma estimativa de passageiros que se deslocam ao Campus da Asprela por dia:

$$Passageiros_{dia} = \sum_{linhas=1}^{10} (km_{linha.i} \times N.Veículos_{linha.i} \times 3,4) \quad \text{Eq. 4}$$

Resolvendo a Eq. 4 com a informação anterior obtemos um valor o final de 3773 Passageiros<sub>dia</sub>.

No entanto, neste valor estarão consideradas pessoas residentes no Campus que se deslocam para o exterior, pessoas residentes fora do campus que se deslocam para o interior bem como deslocações internas, sendo que é um valor que carece de validação através de outros dados.

Os valores calculados podem ser consultados na **Tabela 2**.



**Tabela 2 – Estimativa do fluxo de passageiros de autocarro no Campus da Asprela.**

Designação da Linha	km percorridos no Campus Asprela	Número de Autocarros dia	Média Passageiros Veículo km serviço	Total
4M	1.0	5	3.4	17
11M	2.1	5		35
204	1.7	80		453
300	4.6	50		782
301	4.5	45		686
304	1.1	45		166
600	1.0	95		318
603	2.8	35		331
704	3.3	55		618
803	2.7	40		368
				<b>3773</b>

Tendo em conta as estimativas anteriores, ou seja, que entre 8981 e 8491 pessoas se deslocam de metro e que cerca de 3773 pessoas se deslocam de autocarro para o Campus da Asprela temos um total de deslocações via transporte público que pode variar entre 12754 e 12264, ou seja, entre 25,58% e 24,6% das 49851 de deslocações associada à população flutuante.

De acordo com o estudo [6] 9,9% das deslocações, em dias úteis, na Área Metropolitana do Porto são efetuadas por transporte público (TP), metro e autocarro, valor inferior e que contrasta com o valor estimado de 25%. No mesmo estudo foi calculado que 65,2% das deslocações são feitas através de automóvel, 19,1% através de bicicleta ou a pé, 3,3% através de comboio (serviço não disponível no Campus da Asprela), 1,3% através de motas ou motocicletas e 1,2% associado a outros meios de transporte.

Se consideramos que o valor remanescente de deslocações, cerca de 75%, estarão distribuídos por automóvel, mota ou motociclo, bicicleta ou a pé e outros, podemos estimar intervalos para cada meio de transporte. Para tal assumimos que a diferença entre o valor estimado, cerca de 25%, e o valor do estudo [6], que é 9,9%, ou seja, os 15,1% extra de pessoas que utilizam metro e autocarro, vieram dos restantes meios de transporte disponíveis, sendo que por motivos de simplicidade assume-se que desses 15,1% cerca de 3,3% vem diretamente da percentagem associada a comboios, sobrando por tanto 11,8%.

**Tabela 3 – Percentagem de deslocações por meio de transporte**

Meio de Transporte	Percentagem Total Estimada	Percentagem total do estudo [6]	Percentagem individual estudo [6]	Percentagem individual calculada máx.	Percentagem individual calculada min.
Carro	75%	86.8%	65.2%	75%	53.4%
Mota ou Motociclo			19.1%	30.9%	7.3%
Bicicleta ou a Pé			1.3%	13.1%	0%
Outros			1.2%	13.0%	0%



Com base na Tabela 3 podemos então calcular que o número de deslocações por cada meio de transporte que não transporte público será: entre 37 388 e 26 620 por automóvel; entre 15 404 e 3 639 por mota ou motociclo; até 6 530 por bicicleta ou a pé; e até 6 481 por outros meios de transporte. Verifica-se então que a grande maioria das deslocações é realizada por automóvel.

## 2.3. Metodologia para a Estimação dos Consumos Energéticos dos Edifícios

Tendo sido caracterizado os edifícios, é possível estimar os seus consumos de energia para aquecimento, arrefecimento e águas quentes, ao longo do ano, utilizando o plugin PlanHeat do QGIS, considerando uma *baseline* com nível de conforto assegurado, desprezando, portanto, qualquer insuficiência ou elementos sociais como pobreza energética. Estes dados servirão para comparar e complementar com os dados reais recolhidos do sistema.

Este plugin, permite analisar a área em questão e estimar quais os requisitos energéticos dos edifícios para as três componentes mencionadas anteriormente, tendo em conta temperaturas de conforto e dados climatéricos ao longo do ano graças à georreferenciação dos edifícios.

O Planheat permite realizar dois tipos de análises, simplificada e completa, e cada uma destas análises tem requisitos diferentes como se demonstra na seguinte Tabela 3:

**Tabela 4 – Inputs necessários para as análises PlanHeat.**

	ID do Edifício	Coordenadas Geográficas	Altura	Número de pisos	Ano de Construção	Uso	Área Total	Área da Fachada	Volume	Grau de Proteção
Simplificada	x	x	x							
Completa	x	x	x		x	x	o	o	o	o

x – Obrigatório

o - Opcional

Como consequência da simulação o Planheat gera uma série de dados relativos aos consumos energéticos de cada edifício, especificamente:

- Consumo Anual de Energia para Aquecimento em kWh.
- Consumo Anual de Energia para Aquecimento por m<sup>2</sup> em kWh/m<sup>2</sup>.



- Consumo Máximo para Aquecimento em kW.
- Consumo Anual de Energia para Arrefecimento em kWh.
- Consumo Anual de Energia para Arrefecimento por m<sup>2</sup> em kWh/m<sup>2</sup>.
- Consumo Máximo para Arrefecimento em kW.
- Consumo Anual para Aquecimento de Água Doméstica em kWh.
- Consumo Anual para Aquecimento de Água Doméstica por m<sup>2</sup> em kWh/m<sup>2</sup>.
- Consumo Máximo para Aquecimento de Água Doméstica em kW.

Consumo de energia do edifício ao longo do ano em intervalos de 1h em kWh, que perfaz 8766 amostragens por edifício.

Para os efeitos deste projeto, foi utilizada a análise completa. Como tal, foram fornecidos ao plugin todos os dados obrigatórios, sendo que os dados opcionais extrapolados pelo próprio plugin. Após correr as simulações no Planheat é necessário validar os resultados. Isto pode ser feito de duas maneiras.

A primeira, analisando os dados fornecidos pelo DSO relativos aos consumos de energia da zona .

A segunda forma, analisando a população flutuante e a população residente que já foram previamente calculadas. Tendo estes dois valores e sabendo o consumo médio de energia anual por pessoa em Portugal, será possível calcular o consumo de energia aproximado do Campus da Asprela.

De acordo com a IEA [2] em 2019 o consumo de eletricidade em Portugal por pessoa foi de 5,0 MWh/capita, e de acordo com a PORDATA [6] o consumo de gás natural foi em média 558,5 Nm<sup>3</sup>/capita, sendo que a eletricidade e o gás natural são as duas principais fontes de energia a nível de consumo residencial.

O PlanHeat não faz distinção entre os combustíveis utilizados para a geração da energia consumida, sendo que apresenta os resultados finais de forma agregada em kWh, kWh.ano e kWh/m<sup>2</sup> como foi mencionado anteriormente. Os valores calculados serão apresentados no capítulo dos resultados.





## 2.4. Metodologia para a Estimação dos Consumos da Iluminação Pública.

A iluminação pública é uma componente importante e significativa nos consumos energéticos de uma área geográfica com as dimensões do Laboratório Vivo.

Com recurso a métricas disponibilizadas pelo DSO e sabendo os quilómetros de tradas e vias dentro do Laboratório Vivo, é possível estimar qual o intervalo de valores finais expectáveis que estarão associados aos consumos energéticos da iluminação pública.

Estas estimativas podem depois ser comparadas com valores reais, para aferir se existe um consumo superior ou inferior ao expectável, sendo que a diferença poderá estar associada à utilização de tecnologias ultrapassadas e ineficientes, no caso dum consumo superior ao expectável, ou associada à maior penetração de tecnologias mais sustentáveis, no caso dum consumo inferior ao expectável.

Para tal, recorreu-se à ferramenta QGIS para, em primeiro lugar, aferir o comprimento total de estradas e caminhos pedonais dentro da área que está a ser analisada.

Como foi mencionado anteriormente e demonstrado na Figura 3, foi estimado que dentro do Campus da Asprela existem aproximadamente 37 km de estradas e caminhos pedonais.

O próximo passo foi estimar qual a distância média entre luminárias de iluminação pública.

Para isso foi utilizada a ferramenta *Google Maps*, como se demonstra na Figura 6.



**Figura 6 – Luminárias Iluminação Pública Campus da Asprela [7]**

Foi possível então calcular que, dependendo do tipo de rua ou vizinhança, a distância entre luminárias varia entre 23 metros e 35 metros.

De acordo com o DSO, atualmente, 78% das luminárias de iluminação pública ainda são do tipo vapor de sódio e apenas 15% serão do tipo LED que permite menores consumos para o mesmo nível de iluminação [8]. Isto torna-se evidente pois as luminárias do tipo Vapor de Sódio têm um consumo, em média, 66% superior às luminárias do tipo LED que desempenham a mesma função [9]



Embora o consumo de uma luminária LED não seja fixo e dependa da sua funcionalidade e zona de implantação, por motivos de simplificação, estimou-se que em média esse valor irá rondar os 70 Watts por luminária e, conseqüentemente, uma luminária de Vapor de Sódio terá um consumo que ronda os 200 Watts.

Aplicando o ratio de implementação 78-15 podemos afirmar que dos 37 km de estradas e ruas no campus da Asprela 28,86 km estarão equipados com luminárias de Vapor de sódio enquanto 5,55 km estarão equipados com luminárias LED.

$$P_{Consumida} = P_{luminária} \times N_{luminárias} \quad \text{Eq. 5}$$

$$N_{luminárias} = \frac{D_{Total.Estradas} \times R_{Implantação}}{D_{luminárias}} \quad \text{Eq. 6}$$

Em que:

- **P<sub>Consumida</sub>** – é o valor final a calcular e representa a potência total consumida por todas as luminárias de um dado tipo.
- **P<sub>luminária</sub>** – é a potência individual de cada tipo de luminária, neste caso 70 Watts e 200 Watts para as luminárias LED e Vapor de Sódio respetivamente.
- **N<sub>luminárias</sub>** – é o número de luminárias de um dado tipo dentro da área em análise.
- **D<sub>Total.Estradas</sub>** – é o comprimento total de estradas dentro da área em análise, neste caso 37 km para a área do Campus da Asprela.
- **R<sub>Implantação</sub>** – é o ratio de implantação para cada tipo de luminária, neste caso, 78-15 para as luminárias de Vapor de Sódio e LED respetivamente.
- **D<sub>luminárias</sub>** – é a distância média entre luminárias entre luminárias, neste caso 29 metros.

Com esta informação podemos calcular o valor de **P<sub>Consumida</sub>** através da seguinte **Tabela 5**:

**Tabela 5 – Estimativa do intervalo de potência instalada de luminárias de Iluminação Pública no Campus da Asprela**

	D <sub>luminárias</sub>	R <sub>Implantação</sub>	D <sub>Total.Estradas</sub>	N <sub>luminárias</sub>	P <sub>luminária</sub>	P <sub>Consumida</sub>
<b>Caso 1</b>	35 m	100% (LED)	37 km	1058	70 W	74.1 kW
<b>Caso 2</b>	23 m	100% (VS)	37 km	1609	200 W	321.8 kW
<b>Caso 3</b>	29 m	78(VS)-15(LED)	37 km	1276	168.5 W	215 kW

No caso 1 considerou-se a combinação que levaria ao menor consumo possível, ou seja, **D<sub>luminárias</sub>** máxima e tecnologia LED. No caso 2 considerou-se, por sua vez, a combinação



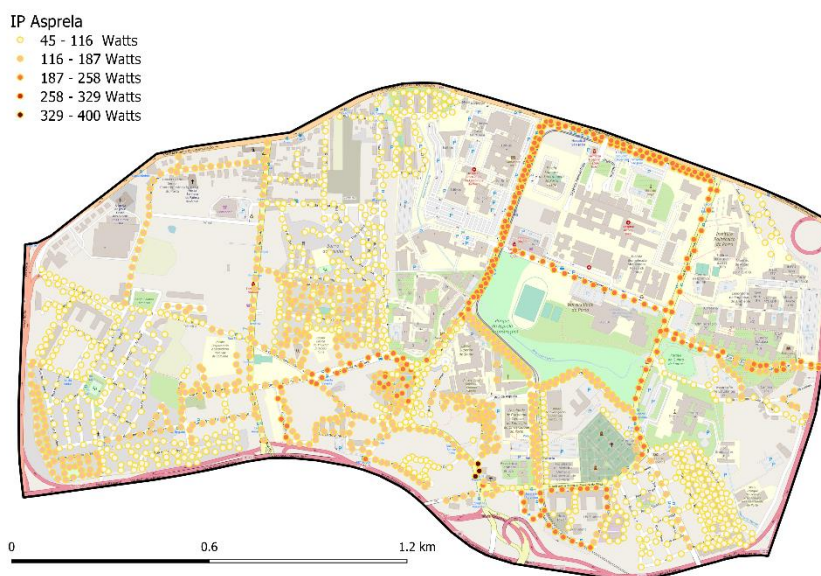
que levaria ao maior consumo possível, ou seja,  $D_{\text{luminárias}}$  mínima e tecnologia Vapor de Sódio. No caso 3 considerou-se uma  $D_{\text{luminárias}}$  média e o ratio 78-15.

O intervalo calculado foi então validado através dos dados reais relativos ao Laboratório Vivo.

Através dos dados fornecidos pelo DSO foi possível apresentar a distribuição dos respetivos equipamentos de iluminação bem como a sua gama de potências que pode ser consultada na Figura 7.

Recorrendo então ao QGIS foi possível extrair as seguintes informações:

- Existem 1674 luminárias de iluminação pública no Laboratório Vivo, este valor fica fora do intervalo calculado por uma margem de 4%;
- A potência média consumida por luminária ronda os 133 Watts versus os 168.5 Watts calculados;
- As luminárias de maior potência consomem 400 Watts enquanto as de menor potência consomem 45 Watts;
- O total de potência instalada é 222.7 kW versus os 215 kW (valor calculado) mas o valor encontra-se dentro do intervalo anteriormente calculado;



**Figura 7 – Distribuição dos equipamentos de IP e a sua classe de Potência.**

Assumindo que as horas de consumo serão iguais às horas 24h do dia menos as horas de luz solar calcularam-se os seguintes valores das médias para cada estação do ano em 2019:

- Primavera média de 10h07min de funcionamento por dia.
- Verão média de 10h01min de funcionamento por dia.
- Outono média de 13h39min de funcionamento por dia.
- Inverno média de 13h45min de funcionamento por dia.

Estes valores traduzem por sua vez nos seguintes consumos em kW ano (kWa):

- Primavera 204889.5 kWa
- Verão 207116.6 kWa
- Outono 267581.3 kWa
- Inverno 269474.3 kWa

Os resultados demonstram então um maior consumo nas estações do ano em que o número de horas solar é menor.

Também é possível verificar que apesar de a potência média por luminária ser inferior à calculada o maior número de luminárias instaladas leva a um consumo superior ao calculado na estimativa.

### 3. Resultados Alcançados

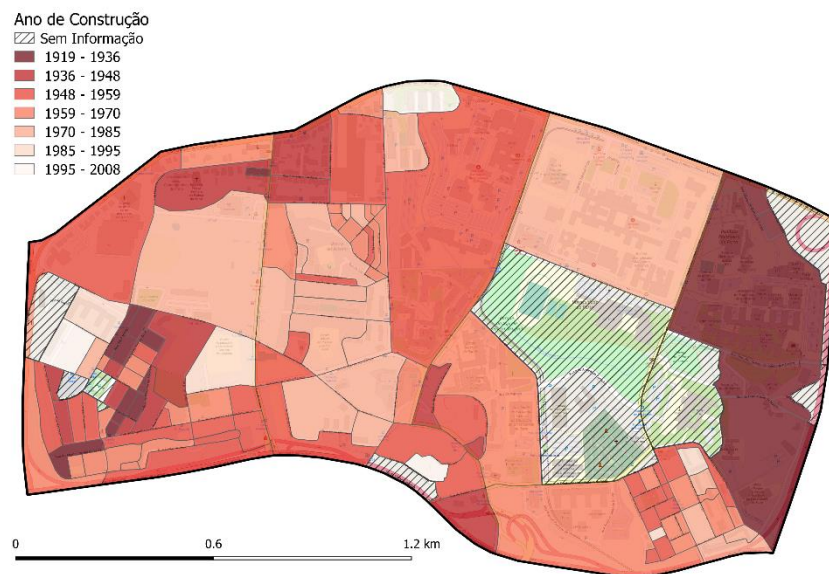
Neste capítulo apresentamos os resultados alcançados após o processamento dos dados adquiridos.

É importante salientar que dada a dimensão de certos consumidores, como o centro Hospital São João e o Instituto Português de Oncologia do Porto, algumas das análises consideram o seu impacto separadamente. Isto foi feito para evitar uma concentração dos consumos na representação geográfica, que por sua vez reduziria o nível de detalhe na sua visualização como será perceptível mais adiante.



## 3.1. Análise Geral

Após fazer um levantamento dos dados relacionados ao Campus da Asprela e utilizando as ferramentas disponibilizadas pelo QGIS, foi possível calcular o ano de construção médio em cada subdivisão geográfica do campus da Asprela. Estas subdivisões são criadas pelos dados georreferenciados dos Censos de 2011 que fornecem igualmente informação sobre a quantidade de edifícios de habitação dentro de cada subdivisão bem como a sua dispersão por década de construção o que permitiu, por sua vez, extrapolar a média do ano de construção dos edifícios em cada subdivisão como apresentado na Figura 8.



**Figura 8 – Período de construção dos edifícios familiares por subdivisão do Campus.**

Esta informação torna-se relevante, pois o plugin PlanHeat extrapola as características físicas dos materiais utilizados na construção através do ano em que o edifício foi construído; características que terão impacto na classificação e prestação energética do edifício e que por sua vez se traduzirá num maior ou menor consumo de energia para aquecimento no inverno e arrefecimento no verão.

É importante salientar que na Figura 8 algumas subdivisões do Campus da Asprela não apresentam nenhuma coloração da escala apresentada apesar de terem edifícios presentes. Isto deve-se ao facto de a informação do ano de construção ser extraída dos Censos 2011 que apenas consideram edifícios de habitação o que significa que essas áreas não possuem edifícios de habitação. Por exemplo a subdivisão onde se insere a Faculdade de Engenharia está assinalada como se a maioria dos edifícios presentes tivessem sido construídos entre 1919 e 1936 quando na realidade isso não se verifica, a contabilização apenas considerou

21



edifícios residenciais que por sua vez representam uma pequena parte dos edifícios que se inserem nessa zona.

Após preencher todos os requisitos apresentados anteriormente na **Tabela 4** foi possível correr uma análise completa para o caso de estudo do Laboratório Vivo, no entanto dada a quantidade de edifícios presentes e a escassa disponibilidade de informação, algumas simplificações foram aplicadas de acordo com as seguintes regras:

- Edifícios Residenciais estilo casa unifamiliar:
  - 2 pisos;
  - Área total igual a duas vezes a área de implantação;
  - Ano de construção igual ao ano médio da subdivisão em que se encontram;
  - Altura total igual 3 metros vezes o número de pisos.
- Edifícios Residenciais estilo prédio multifamiliar:
  - 5 pisos;
  - Área total igual a cinco vezes a área de implantação;
  - Ano de construção igual ao ano médio da subdivisão em que se encontram;
  - Altura total igual 3 metros vezes o número de pisos.

Os restantes edifícios, não residenciais, como escolas, faculdades, hospitais, etc., dada a sua natureza, têm os seus dados preenchidos com mais precisão pois a informação em muitos dos casos é de acesso público.

Tendo isto em conta foi possível chegar aos seguintes resultados no que diz respeito a consumos para aquecimento, arrefecimento e águas quentes, e iluminação total e anual.

- |  |                  |
|--|------------------|
| · Consumo Anual de Energia para Aquecimento        | 39 379,7 MWh/ano |
| · Consumo Anual de Energia para Arrefecimento      | 32 236,0 MWh/ano |
| · Consumo Anual para Aquecimento de Água Doméstica | 50 314,2 MWh/ano |

Estes consumos representam a totalidade dos edifícios identificados que se inserem no Campus da Asprela não contabilizando o Hospital São João e o Hospital IPO do Porto.

No entanto este consumos não têm uma dispersão geográfica homogénea no interior do Campus da Asprela e tendo isto em conta foram criados três mapas que permitem ver aonde as necessidades de aquecimento, arrefecimento e águas quentes domésticas se

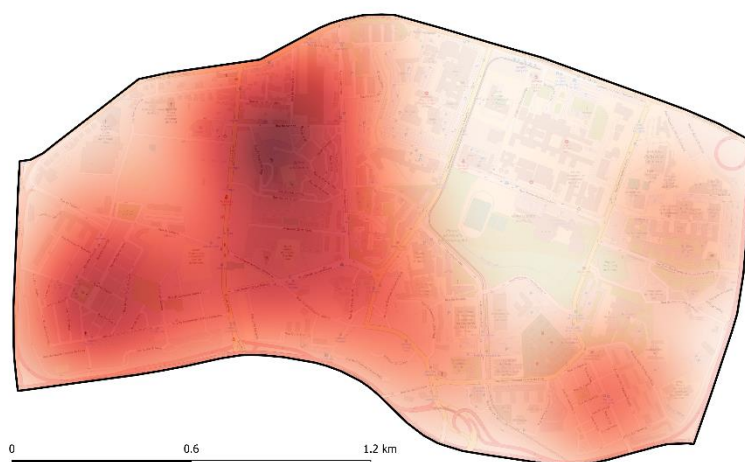


encontram, esta informação é importante pois permitirá no futuro que se façam estudos mais detalhados sobre as localizações onde faz mais sentido instalar produção dispersa e armazenamento de energia de modo a reduzir as distâncias entre consumo e geração, ou seja, reduzindo as perdas na transmissão.

Como podemos observar na Figura 9, Figura 10 a dispersão das necessidades energéticas varia com a finalidade, no entanto, no que toca às necessidades para aquecimento e arrefecimento as necessidades energéticas concentram-se nos bairros residenciais mais antigos do Campus da Asprela, isto é demonstrado pela coloração mais forte no mapa, e usando como referência a **Figura 8** podemos ver que se trata de construção, na sua generalidade, anterior a 1959, com uma forte presença de construções anteriores a 1938.

Também é possível observar, pela intensidade da coloração, que as necessidades energéticas para aquecimento são superiores e mais dispersas do que as necessidades energéticas para arrefecimento, isto deve-se ao facto que PlanHeat usa dados climatéricos georreferenciados para recorrer à sua análise o que se traduz por sua na identificação de maiores necessidades de aquecimento nos meses frios do que arrefecimento nos meses quentes tendo em conta as temperaturas de conforto para cada tipologia de edifício.

Os dados gerados pelo PlanHeat podem ser cruzados com dados de consumos reais fornecidos pela Agência de Energia do Porto e pela E-Redes que são apresentados na Fig. 10, dados que foram processados por forma a ser possível a sua georreferenciação e apresentação.



**Figura 9 – Dispersão das necessidades energéticas para aquecimento, PlanHeat.**



O mapa térmico apresentado na Fig. 8 é gerado através do QGIS que converte uma representação pontual, neste caso os edifícios, numa representação por gradiente de cor que associe zonas de maior densidade a valores superiores de consumo energético.



**Figura 10 – Dispersão das necessidades energéticas para arrefecimento, PlanHeat.**

A geração da Fig. 9 é realizada da mesma forma, no entanto, o atributo considerado deixa de ser a energia consumida para aquecimento e passa a ser considerada a energia consumida para arrefecimento, por essa razão, uma distribuição pontual ou discreta permite gerar dois mapas térmicos diferentes recorrendo a diferentes atributos de entidade edifício.



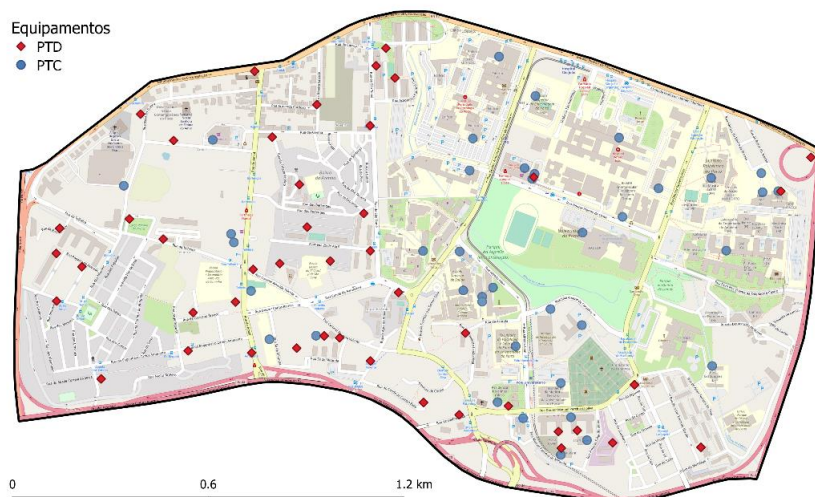
**Figura 11 – Dispersão do consumo energético dos PTCs e PTDs, e-Redes.**

Estes dados de consumo, por razões de confidencialidade, são apresentados ao nível dos Postos de Transformação no interior do Campus da Asprela, isto significa que enquanto nas Fig. 9 e Fig. 10 os mapas térmicos são gerados através da dispersão dos edifícios e dos



consumos a eles associados, por sua vez, na Fig. 11 o mapa térmico que representa a concentração dos consumos de energia é realizado através da dispersão geográfica dos postos de transformação.

Visto que a dispersão de edifícios, apesar de estar relacionada, não é idêntica à dispersão de postos de transformação, presente na Figura 12, nem ao nível de número nem ao nível de localização, é preciso proceder à comparação entre as dispersões com cautela.



**Figura 12 – Postos de Transformação Públicos da e-Redes.**

A presença de grandes consumidores com Postos de Transformação Privados no campus da Asprela significa que a análise de fluxos não teria uma representação fiável da realidade energética do Laboratório Vivo se apenas os Postos de Transformação Públicos fossem considerados.

Para este efeito nas Fig. 9, Fig. 10 e Fig. 11 foram considerados todos os Postos de Transformação Cliente (PTC) e Postos de Transformação de Distribuição (PTDs) com exceção do Centro Hospital São João e do Instituto Português de Oncologia.

Os dados de consumo energético para a representação da Fig. 11 foram fornecidos pela e-Redes, originalmente com um passo iterativo de 15 minutos foram depois processados para apresentar um passo de 1h perfazendo 8760 entradas para cada Posto de Transformação. São dados relativos ao ano de 2019, o último pré-pandemia.

Com os dados foram geradas 3 matrizes de dados que permitiram analisar se existem correlações entre o consumo energético a uma dada hora do ano com outras variáveis.

A Tabela 5 representa a Matriz de Dados de Consumos Agregados por PTD, PTC, IP e Total, e permitiu encontrar correlações entre o consumo energético a uma dada hora do ano

e a estação do ano, as horas de luz, a temperatura exterior ou o número de pessoas no campus da Asprela.

**Tabela 6 – Representação da Matriz de Dados de Consumos Agregados**

Linha	Data	Hora	Dia	Mês	Estação	Horas de luz	Temp. Exterior	Pessoas no Campus	Consumo IP kW	Consumo PTD kW	Consumo PTC kW	Consumo Total kW
2	01/01/19	00:00	1	1	Inverno	09:14	11	10288	222.71	3642.5	5644.5	8852.79
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8760	31/12/19	23:59	31	12	Inverno	09:13	11	10288	222.71	3390	5789	8772.29

A Tabela 6 representa a Matriz de Dados de consumos Desagregados, ou seja, individualizados por PTD e PTC, o que permite relacionar os agrupar os transformadores por grupos de acordo com os seus perfis de consumo, agregando PTCs e PTDs com perfis de consumo semelhantes no tempo no mesmo grupo.

**Tabela 7 – Representação da Matriz de Dados de Consumos Desagregados**

Linha	Hora	PTD_1	...	PTD_x	PTC_1	...	PTC_x
2	00:00	189	...	50.5	72	...	13.6
...	...	...	...	...	...	...	...
8761	23:59	166.75	...	54.25	...	...	15.8

A Tabela 7 representa a Matriz de Dados Anualizados onde se apresentam os consumos para o ano todo de 2019 e onde é possível correlacionar esses mesmos consumos com o número de clientes e número de pessoas servidos pelos respetivos postos de transformação bem como extrapolar o valor do consumo de energia por ano por cliente e o consumo de energia por ano por pessoa servida pelo respetivo posto de transformação bem como com o tipo de transformador de acordo com a sua utilização, se público (PTD) ou se privado (PTC).

**Tabela 8 – Representação da Matriz de Dados Anualizados**

Linha	PT_id	Utilização	Número de Clientes	Número de Pessoas	kWh.a	kWh.a por Cliente	kWh.a por Pessoas
1	PTD_1	Público	363	493	1149593	3167	2332
...	...	...	...	...	...	...	...
...	PTD_x	Público	160	217	505770	3160	2331
...	PTC_1	Privado	1	2506	960084	960084	383
...	...	...	...	...	...	...	...
93	PTC_x	Privado	1	60	222940	222940	3716



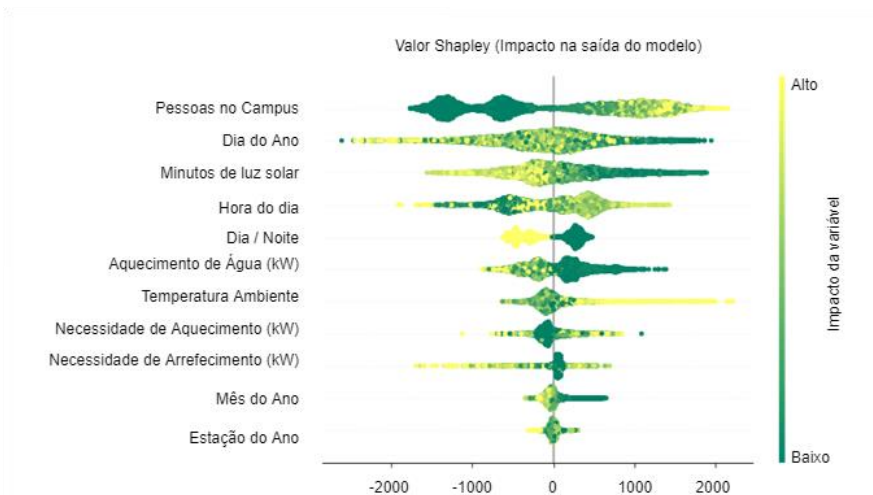
Com estas matrizes foi possível identificar quais *key performance indicators* e quais as variáveis que mais contribuem para consumos elevados.

Para obter a importância das características do modelo, foi utilizada uma abordagem supervisionada [10] aplicando o pacote XGBoost [11] em Python e o interpretador Shapley. Foram consideradas as seguintes variáveis independentes: Hora, Dia do ano, Mês, Estação do ano, Min de luz/dia, Dia/Noite, Temperatura °C, Pessoas no campus, Necessidades de aquecimento (kWh), Necessidades de refrigeração (kWh). A variável dependente foi o consumo de energia elétrica em kWh. Reconhecemos que as variáveis das necessidades de energia, devido ao aquecimento e refrigeração não são totalmente acionadas por eletricidade. No entanto, são tomados como indicativos (do PlanHeat), do consumo total de energia, o que pode influenciar o consumo de eletricidade.

Em relação ao modelo de regressão, o conjunto de dados foi dividido de forma linear, com uma relação de teste de 70-30%. O erro médio quadrado foi de 121,84 com uma pontuação R2 de 0,98. As principais variáveis que influenciam o consumo de energia foram identificadas pelo intérprete de importância de variáveis. Os resultados são apresentados na Fig. 13, mostrando a importância de cada variável para o *output* do modelo, com direção do impacto correspondente.

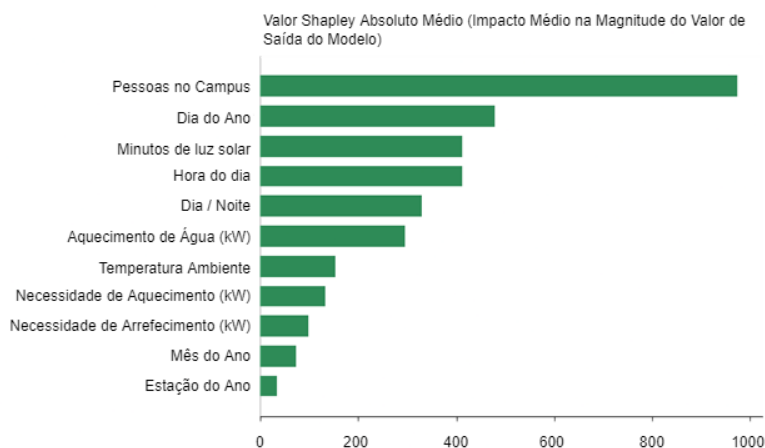
Para maior clareza, considere-se a variável minutos de luz do dia num dia, como exemplo. Quantos mais minutos de luz houver num dia, representados pelos pontos amarelos (valor alto), menos impacto terá no *output* do modelo, que é o consumo de energia elétrica. Pelo contrário, quanto menos luz de dia houver (pontos verdes), maior será o impacto no consumo de eletricidade. Isso se deve, muito provavelmente, às necessidades de iluminação, principalmente a iluminação pública.





**Figura 13 - Dependência parcial e importância das variáveis do modelo de regressão.**

A Fig. 14 mostra o gráfico de barras correspondente, que obtém o valor absoluto médio de cada variável em todas as instâncias (linhas) das matrizes de dados, fornecendo o impacto absoluto.



**Figura 14 - Dependência parcial e importância das variáveis do modelo de regressão.**

A partir da Fig. 14, observa-se que os fatores com maior impacto no consumo energético estão os relacionados com o tempo, nomeadamente a variação diária e o fluxo de pessoas na área (entrada e saída no Laboratório Vivo).



## 3.2. Análise Centro Hospitalar São João e IPO do Porto

Como foi anteriormente exposto estas duas instituições, devido ao seu tamanho e tipo de utilização, possuem perfis de consumo distintos das restantes entidades no interior do Laboratório Vivo.

Em relação ao Centro Hospitalar São João o consumo energético, ao nível de eletricidade, das instalações foi, em 2021, igual a 19.74 GWh para o edifício do Hospital mais 4.28 GWh para o edifício de cogeração, perfazendo um total de 24.02 GWh.

Em relação ao Instituto Português de Oncologia do Porto o consumo energético, ao nível de eletricidade, das instalações foi, em 2019, igual a 7.74 GWh para o ponto de entrega número 1 e 4.72 GWh para o ponto de entrega número 2, perfazendo um total de 12.45 GWh.

Quando consideramos que a potência total consumida no Laboratório Vivo em 2019 é igual a 109.3 GWh podemos então verificar que as duas entidades, HSJ e IPO, representam 33.36% do consumo total do campus da Asprela, considerando que o consumo de energia do HSJ em 2019 não será significativamente diferente do valor de 2021.

Tendo em conta estes valores é então possível verificar a razão da exclusão destas entidades dos mapas térmicos que foram gerados anteriormente sendo que se fossem consideradas seriam os pontos de maior densidade de consumo energético nos mapas em questão por um fator de grandeza que equalizaria a representação dos restantes pontos de consumo levando a interpretações erradas.

## 3.3. Análise Consumos de Gás

Os dados relativos aos consumos de gás canalizado faturados no Laboratório Vivo do Campus da Asprela foram fornecidos pela Portgás, no entanto, devido a questões impostas pelo Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), os dados foram apresentados de forma anónima sendo que não é possível associar os contratos aos diversos consumidores.

De acordo com os dados fornecidos no ano de 2019 foi faturado um consumo total de 30.33 GWh.ano o que corresponde a um total aproximado de 2874976,30 m<sup>3</sup> de gás natural.



Os maiores consumos estão associados a um grupo de 12 contratos mensais com data de início a 01/01/2019 e fim a 31/12/2019 com um consumo total de 12.02 GWh.ano sendo que o maior contrato individual se verificou no mês de janeiro de 2019 com um valor associado de 1.57 GWh.mês.

## 3.4. Recomendações

Após uma análise dos dados de consumo elétrico do Campus da Asprela, juntamente com uma análise da mobilidade foi possível identificar alguns pontos que beneficiariam de intervenções futuras.

Um desses pontos está relacionado com o desequilíbrio a nível de consumo elétrico durante o período noturno e o período diurno. O consumo total anual para o período diurno atinge os 58.38 GWh e o consumo total anual para o período noturno fica nos 42.90 GWh sendo que o consumo médio diário é de 13 046.6 kWh e o consumo médio noturno é de 10 012.8 kWh. Esta disparidade torna-se ainda mais evidente quando identificamos o consumo máximo e o consumo mínimo ao longo do ano todo. O maior consumo, 19 213.5 kWh, verificou-se no período diurno e o menor consumo, 7 360.0 kWh, verificou-se no período noturno.

No âmbito da promoção das comunidades energéticas e tendo em conta a informação anterior, algumas recomendações podem ser tidas em conta:

- A elevada procura de energia durante o período diurno torna o sistema propenso à instalação de painéis fotovoltaicos por forma a promover o consumo de energia renovável para autoconsumo coletivo.
- Paralelamente à instalação de painéis, deverão ser instaladas baterias para o armazenamento do excedente de produção diurna para ser posteriormente consumida durante o período noturno. Esta instalação poderia ser uma oportunidade para as superfícies comerciais presentes no Campus, no caso de um plano ambicioso de instalação de painéis PV, por forma a usufruir de autoconsumo e fornecer serviços para a rede.
- Tendo em conta que uma elevada percentagem de pessoas se desloca de e para o Campus por via de automóvel, a instalação de carregadores elétricos, como ativo integrante de comunidades energéticas renováveis deveria ser promovida para criar incentivos à mudança para veículos elétricos.



- Neste contexto recomenda-se a criação de mecanismos para o incentivo de carregamentos noturnos por forma a equilibrar os períodos de consumo, ou seja, aumentando o consumo noturno e não o diurno.
- Visto que uma elevada percentagem da população flutuante ainda se desloca com recurso a veículos privados, movidos a combustíveis fósseis, poderiam ser criados programas para o incentivo ao uso dos transportes públicos e outros meios de transporte, como bicicletas por forma a promover meios de deslocação mais sustentáveis, a isto, deveria juntar-se uma melhoria das infraestruturas como ciclovias e da frequência e diversidade das linhas de autocarros.

## 4. Conclusões

Tendo em conta a extensiva análise de fluxos energéticos no Laboratório Vivo do campus da Asprela tanto a nível de simulações, através do QGIS e PlanHeat, como a nível de análises e processamento de dados reais foi possível extrapolar as seguintes conclusões.

Existe no campus da Asprela uma potência total instalada (transformadores) de 53.7 MVA em Postos de Transformação Cliente (PTC) e de 19.98 MVA em Postos de Transformação de Distribuição (PTD).

No caso dos PTC a potência máxima consumida em 2019 foi de 14.04 MVA cerca de 26% da potência instalada e no caso dos PTD a potência máxima consumida em 2019 foi de 8.379 MVA cerca de 42% da potência instalada.

Esta análise permite concluir que no caso das instalações públicas existe uma folga, ao nível macro do campus da Asprela, de aproximadamente 58% e no caso das instalações privadas de 74% que poderá permitir a instalação de meios de micro geração como painéis fotovoltaicos, microturbinas ou micro geração eólica.

Ao nível da iluminação pública no campus da Asprela verificou-se que a potência instalada ao nível de equipamentos é superior ao valor estimado o que pode significar um atraso na conversão para tecnologias mais sustentáveis como as tecnologias LED no entanto, verificou-se que o valor consumido pela iluminação pública é na realidade 1% inferior ao valor calculado, esta diferença poderá ser justificada através da consideração de diferentes períodos de funcionamento para a fase de cálculos em relação à utilizada na realidade.



Concluindo, em relação ao consumo dos edifícios o Planheat estimou um consumo de eletricidade total de **121.93 GWh.ano** para o ano de 2019 para a Asprela, enquanto o processamento dos dados reais apresenta um valor de **109.3 GWh.ano**, ou seja, uma diferença de **12.63 GWh.ano** ou 16.93%. Estes valores representam um mínimo de **99%** dos consumos presentes no Campus da Asprela.

Nas Fig. 9 e Fig. 10 o PlanHeat demonstra que devia haver uma maior concentração de consumo de energia para aquecimento e arrefecimento nas zonas do Laboratório Vivo onde existem os Bairros Sociais com a construção mais antiga, no entanto, a Fig. 11 demonstra que a concentração de consumo de energia maior não se encontra nessas zonas.

Esta informação pode ajudar a justificar a diferença entre a energia consumida expectável (calculada pelo PlanHeat) e a energia consumida real (extrapolada dos dados da e-Redes).

A diferença poderá estar então associada a um fator de pobreza energética, significando que a população que reside nos bairros sociais em questão, não tem possibilidades económicas para manter as habitações dentro dos limites das temperaturas que garantem um nível de comodidade, no entanto, esta é apenas uma das razões possíveis pois a diferença entre valores pode estar associada a outros fatores, como remodelações dos edifícios em questão que permitam reduzir o consumo energético, sendo que esta informação não está disponível, por isso não pode ser considerada no PlanHeat. Outro elemento pode ser o recurso a outras fontes de energia, como o gás para o aquecimento de águas e espaços visto que estas fontes não serão contabilizadas no consumo de eletricidade, ou então uma combinação das três razões apresentadas.

Isto torna-se evidente quando agregamos ao consumo de eletricidade o consumo de gás natural canalizado. Neste caso, o consumo anual total para 2019 chega aos **139.33 GWh.ano**, ou seja, superior ao valor estimado pelo PlanHeat. Esta inversão pode, por sua vez, ser indicativa da fraca qualidade de construção das infraestruturas residenciais, sendo que o maior consumo de gás natural se verifica nos meses de inverno e tendo em conta, que o consumo de gás natural está associado ao aquecimento de espaços, aquecimento de água e preparação de alimentos.

Foi também possível concluir que os períodos de maior consumo energético no Laboratório Vivo, estão associados aos períodos de maior afluência populacional seguido de variáveis temporais, como dia do ano e minutos de luz solar como demonstra a Fig. 14.





## 5. Anexo I – Ferramentas utilizadas.

Para o processamento e análise de dados foram utilizadas as seguintes ferramentas informáticas:

- QGIS v.3.4 – software de visualização, edição e análise de dados referenciados.
- PlanHeat – plugin QGIS para a simulação de análise de consumos energéticos relacionados com aquecimento e arrefecimento de espaços e edifícios ao nível distrital.
- Microsoft Excel – processamento e análise de dados em conjunto com QGIS.
- PyCharm 2021.2 – GUI para compilação de scripts python para processamento de ficheiros excel.
- PhpStorm 2021.2.3 – GUI para compilação de scripts php para a análise de outputs do PlanHeat.



## 6. Referências

- [1] Instituto Nacional de Estatística, “Censos,” 14 October 2021. [Online]. Available: <http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml>.
- [2] International Energy Agency, “Data and Statistics,” 14 10 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=PORTUGAL&fuel=Energy%20consumption&indicator=ResidentialConsByEndUse>.
- [3] Direção-Geral de Estatísticas da Educação e Ciência, “Vagas e Inscritos (inclui inscritos em mobilidade internacional),” 26 October 2021. [Online]. Available: <https://www.dgeec.mec.pt/np4/EstatVagasInsc/>.
- [4] Metro do Porto, “2019,” 2019. [Online]. Available: <https://www.metrodoporto.pt/pages/611>.
- [5] STCP, “Relatórios e Contas,” 29 October 2021. [Online]. Available: <https://www.stcp.pt/fotos/editor2/Relat%C3%B3rios%20e%20Contas/stcp-telatorio-contas-2019.pdf>.
- [6] PORDATA, “Consumo de Gás Natural por Habitante,” 28 October 2021. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Municipios/Consumo+de+g%C3%A1s+natural+por+habitante-485>.
- [7] Google, “Google Maps,” 19 10 2021. [Online]. Available: <https://www.google.pt/maps/@41.1778764,-8.5988927,98m/data=!3m1!1e3>.
- [8] E-Redes, “Iluminação Pública - Um instrumento de Cidadania,” 04 04 2019. [Online]. Available: <https://www.e-redes.pt/pt-pt/historias/iluminacao-publica-um-instrumento-de-cidadania>.
- [9] EDP, “media,” 2018. [Online]. Available: [https://www.edp.pt/media/1560153/23032018\\_iluminacaopublicaled.pdf](https://www.edp.pt/media/1560153/23032018_iluminacaopublicaled.pdf).
- [10] A. Lucas e S. Carvalhosa, “Renewable Energy Community pairing methodology using statistical learning applied to georeferenced energy profiles,” *Energies*, 2022.
- [11] T. & G. C. Chen, “XGBoost: A Scalable Tree Boosting System,” em *22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2016.
- [12] Centro Hospitalar Universitário de São João, “Relatórios e Contas,” 27 October 2021. [Online]. Available: [https://portal-chsj.min-saude.pt/uploads/document/file/919/R\\_C2019\\_VF.pdf](https://portal-chsj.min-saude.pt/uploads/document/file/919/R_C2019_VF.pdf).
- [13] IPO Porto, “Relatórios e Contas,” 27 October 2021. [Online]. Available: [https://ipoporito.pt/wpsite\\_2020/wp-content/uploads/2021/01/Relatorio-e-Contas-2019.pdf](https://ipoporito.pt/wpsite_2020/wp-content/uploads/2021/01/Relatorio-e-Contas-2019.pdf).

