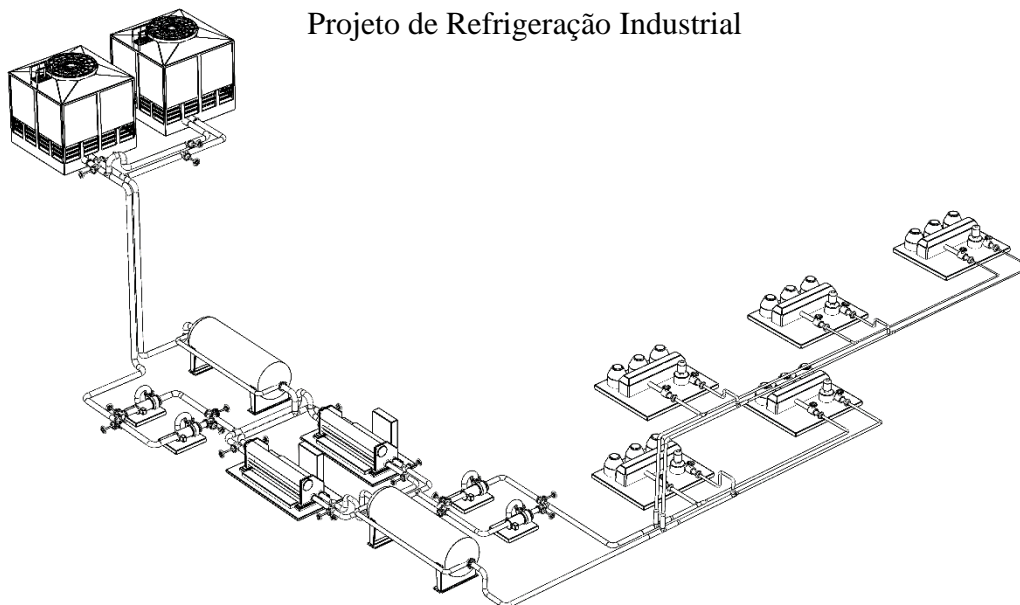


# Relatório final de projeto

PST – Projeto Sistemas Térmicos

2022/2023

## Projeto de Refrigeração Industrial



P6 Grupo 2

Bruno Monteiro 84893

João Marques 98246

Nuno Pereira 89142

Bernardo Mazzini 96155

João Valinho 88775

## Ficha de Avaliação Individual

Projeto em Sistemas Térmicos | Ano Letivo 2022-2023

A presente ficha deve ser preenchida por cada elemento de cada grupo e incluída, depois de devidamente assinada, pelo próprio e pelo Líder do Grupo, imediatamente a seguir à folha de rosto do Relatório Final de Projeto.

**Apenas serão lançadas notas aos estudantes que a tiverem preenchido, assinado e incluído no Relatório.**

Turma Prática que frequentou:	P6
Número do Grupo:	2
Nome do Estudante:	Bernardo Mazzini
Nome do Líder do Grupo:	Bruno Monteiro

Numa escala **de 0 a 100**, como avalia **o seu contributo/desempenho** no âmbito deste projeto:

Quanto à <b>quantidade</b> de trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	70
Quanto à <b>qualidade</b> do trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	100

Caso pretenda, poderá comentar/justificar a autoavaliação acima realizada campo seguinte:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

Data: 04/01/2023

Assinatura do Estudante:

Bernardo Mazzini

Assinatura do Líder do Grupo:

Bruno Monteiro

## Ficha de Avaliação Individual

Projeto em Sistemas Térmicos | Ano Letivo 2022-2023

A presente ficha deve ser preenchida por cada elemento de cada grupo e incluída, depois de devidamente assinada, pelo próprio e pelo Líder do Grupo, imediatamente a seguir à folha de rosto do Relatório Final de Projeto.

**Apenas serão lançadas notas aos estudantes que a tiverem preenchido, assinado e incluído no Relatório.**

Turma Prática que frequentou:	P6
Número do Grupo:	2
Nome do Estudante:	João Gamboa
Nome do Líder do Grupo:	Bruno Monteiro

Numa escala **de 0 a 100**, como avalia **o seu contributo/desempenho** no âmbito deste projeto:

Quanto à <b>quantidade</b> de trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	85
Quanto à <b>qualidade</b> do trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	85

Caso pretenda, poderá comentar/justificar a autoavaliação acima realizada campo seguinte:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

Data: 04/01/2023

Assinatura do Estudante:

Y<sup>rs</sup> Graham

Assinatura do Líder do Grupo:

Bruno Monteiro

## Ficha de Avaliação Individual

Projeto em Sistemas Térmicos | Ano Letivo 2022-2023

A presente ficha deve ser preenchida por cada elemento de cada grupo e incluída, depois de devidamente assinada, pelo próprio e pelo Líder do Grupo, imediatamente a seguir à folha de rosto do Relatório Final de Projeto.

**Apenas serão lançadas notas aos estudantes que a tiverem preenchido, assinado e incluído no Relatório.**

Turma Prática que frequentou:	P6
Número do Grupo:	2
Nome do Estudante:	João Valinho
Nome do Líder do Grupo:	Bruno Monteiro

Numa escala **de 0 a 100**, como avalia **o seu contributo/desempenho** no âmbito deste projeto:

Quanto à <b>quantidade</b> de trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	80
Quanto à <b>qualidade</b> do trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	80

Caso pretenda, poderá comentar/justificar a autoavaliação acima realizada campo seguinte:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

Data: 04/01/2023

Assinatura do Estudante:

João Valinho

Assinatura do Líder do Grupo:

Bruno Monteiro

## Ficha de Avaliação Individual

Projeto em Sistemas Térmicos | Ano Letivo 2022-2023

A presente ficha deve ser preenchida por cada elemento de cada grupo e incluída, depois de devidamente assinada, pelo próprio e pelo Líder do Grupo, imediatamente a seguir à folha de rosto do Relatório Final de Projeto.

**Apenas serão lançadas notas aos estudantes que a tiverem preenchido, assinado e incluído no Relatório.**

Turma Prática que frequentou:	P6
Número do Grupo:	2
Nome do Estudante:	Nuno Afonso
Nome do Líder do Grupo:	Bruno Monteiro

Numa escala **de 0 a 100**, como avalia **o seu contributo/desempenho** no âmbito deste projeto:

Quanto à <b>quantidade</b> de trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	80
Quanto à <b>qualidade</b> do trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	80

Caso pretenda, poderá comentar/justificar a autoavaliação acima realizada campo seguinte:

Date	Description	Amount	Balance	Interest	Total

Data: 04/01/2023

Assinatura do Estudante:

Арно Келла

Assinatura do Líder do Grupo:

Bruno Monteiro

## Ficha de Avaliação Individual

Projeto em Sistemas Térmicos | Ano Letivo 2022-2023

A presente ficha deve ser preenchida por cada elemento de cada grupo e incluída, depois de devidamente assinada, pelo próprio e pelo Líder do Grupo, imediatamente a seguir à folha de rosto do Relatório Final de Projeto.

**Apenas serão lançadas notas aos estudantes que a tiverem preenchido, assinado e incluído no Relatório.**

Turma Prática que frequentou:	P6
Número do Grupo:	2
Nome do Estudante:	Bruno Monteiro
Nome do Líder do Grupo:	Bruno Monteiro

Numa escala **de 0 a 100**, como avalia **o seu contributo/desempenho** no âmbito deste projeto:

Quanto à <b>quantidade</b> de trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	80
Quanto à <b>qualidade</b> do trabalho desenvolvido (face à expectativa do grupo)	80

Caso pretenda, poderá comentar/justificar a autoavaliação acima realizada campo seguinte:

Date	Description	Amount	Balance	Interest	Total

Data: 04/01/2023

Assinatura do Estudante: Bruno Monteiro

Assinatura do Líder do Grupo: Bruno Monteiro

2. Introdução.....	1
2.1. Objetivo do projeto e enunciado .....	1
2.2. Planeamento e divisão de tarefas .....	1
2.3. Regulamentação aplicável.....	2
2.4. Estudo Prévio - exemplo de aplicação .....	2
3. Considerações gerais .....	3
3.1. Localização – Aveiro .....	3
3.2. Requisitos funcionais (capacidade e potência).....	3
3.3. Principais constrangimentos.....	3
4. Componentes principais .....	4
4.1. Equipamento de produção e armazenamento de energia térmica .....	4
4.2. Rede de distribuição de energia térmica .....	4
4.3. Equipamento de permuta de energia térmica - Torres de arrefecimento .....	5
4.3.1. Tipos de circuito em torres de arrefecimento:.....	5
4.3.2. Tipos de fluxo nas torres de arrefecimento: .....	5
4.4. Circulação de energia térmica/fluidos – Bombas.....	6
4.5. Monitorização e controlo .....	6
4.6. Quadro elétrico - Rede das máquinas cliente .....	6
5. Equipamento de Produção de Frio .....	7
5.1. Descrição do equipamento .....	7
5.2. Seleção/dimensionamento.....	7
5.3. Requisitos de instalação .....	7
6. Rede de Frio .....	8
6.1. Descrição detalhada da rede e PI&D.....	8
6.3. Requisitos operacionais: potências e caudais.....	9
6.4. Acessórios de monitorização e controlo.....	9
6.5. Dimensionamento hidráulico (tubos) .....	10
6.6. Seleção de tubagens, isolamentos e tanques .....	10
7. Análise e otimização da rede de distribuição de frio .....	12
7.1. Seleção dos objetos da análise .....	12
7.2. Otimização dos diâmetros da tubagem.....	12
7.3. Dimensionamento e otimização do isolamento térmico .....	15
8. Equipamento de permuta de calor .....	20
8.1. Características do equipamento escolhido .....	20
8.2. Especificação/dimensionamento térmico e hidráulico .....	20
8.3. Seleção de equipamento compatível em catálogo.....	21

8.4. Requisitos de instalação .....	21
9. Equipamento de circulação .....	22
9.1. Descrição do equipamento .....	22
9.2. Dimensionamento hidráulico .....	22
9.3. Seleção de equipamento compatível em catálogo .....	23
10. Monitorização e controlo .....	24
10.1. Descrição e justificação do equipamento a instalar .....	24
10.2. Seleção de equipamento compatível em catálogo .....	25
11. Equipamento a instalar para energias renováveis .....	25
11.1. Seleção de equipamento de energias renováveis compatível em catálogo .....	25
11.2. Requisitos de instalação .....	26
11.3. Análise da fração de energia renovável.....	26
12. Análise económica da solução proposta.....	26
12.1. Definição de estudo económico .....	26
12.2.....	26
12.3 Custos de construção do projeto.....	27
12.4 Financiamento .....	28
12.5 Custos energéticos.....	28
12.6. Mapa de fluxos financeiros ao longo da vida do projeto .....	28
Referências: .....	31
Anexo A: Quadro Elétrico.....	33
Anexo B: Diagrama elétrico do <i>chiller</i> escolhido .....	33
Anexo C: Diagrama elétrico das bombas escolhidas .....	34
Anexo D: Especificações do <i>chiller Aquaforce</i> 30XW-P 1351P .....	34
Anexo E: Calor específico da água líquida entre os 0 e 60°C .....	35
Anexo F: Densidade, massa volúmica da água a temperaturas entre 0 e 60°C .....	35
Anexo G: Características das válvulas, Atuadores e sensores .....	36
Anexo H: Excerto do catálogo de tubos vendidos pela Wheatland Tubes.....	38
Anexo I: Tabela-resumo de custos em função da espessura do isolamento.....	38
Anexo J: Espessuras mínimas de isolamento referidas na legislação Portaria nº 138-I/2021, de 1 de julho.....	39
Anexo X: Layout e Componentes componente do projeto .....	46
Anexo X: Mapa de quantidades .....	50



## 2. Introdução

### 2.1. Objetivo do projeto e enunciado

O presente projeto visa, no âmbito da unidade curricular de Projeto em Sistemas Térmicos, projetar uma rede térmica com os requisitos impostos de acordo com um enunciado e consequentemente elevar o nosso conhecimento através da interligação de competências previamente adquiridas.

A proposta de trabalho é efetuar a projeção de uma rede de refrigeração industrial, com água fria como fluido de trabalho. Além disso, pretende-se retirar calor de 5 máquinas cliente, de modo a suprimir as necessidades das mesmas, com as potências e disposições como mostra a **Tabela 1**.

Também o projeto deverá respeitar as medidas para a indústria como caracterizado **Tabela 2**, integrar fontes de energia renovável, através de uma ou várias tecnologias, e incluir uma análise económica e otimização da configuração do projeto.

**Tabela 1:** Especificações das máquinas cliente.

Enunciado		Alimentação		Descarga	Potência	Operação	Eficiência	Perda de carga
Consumo de calor	Fluido de trabalho	P [bar]	T [°C]	T [°C]	P [kW]	t [h/d]	h [%]	$\Delta P$ [kPa]
Máquina 1	água fria	-	7	14	38	24	0,92	60
Máquina 2	água fria	-	7	14	188	24	0,92	60
Máquina 3	água fria	-	7	14	263	24	0,92	60
Máquina 4	água fria	-	7	14	563	24	0,92	60
Máquina 5	água fria	-	7	14	450	24	0,92	60

**Tabela 2:** Características do Projeto fornecidas.

Características do Projeto		
Comprimento	[m]	150
Largura	[m]	50
Pé Direito	[m]	5
Pisos	[#]	2
Máquinas no piso 1	[#]	2
Máquinas no piso 2	[#]	3

### 2.2. Planeamento e divisão de tarefas

Procurou-se reunir todos os membros do grupo semanalmente e em cada reunião, discutir as etapas do projeto de forma clara e específica. Assim, de modo a identificar os recursos, quer pessoais quer temporais, necessários para a realização de cada tarefa, definiram-se áreas de especialização para cada membro do grupo. Além disso, recorreu-se à criação de um cronograma detalhado (gráfico de Gantt) para o projeto, que inclui prazos e tarefas específicas para cada membro do grupo.

### 2.3. Regulamentação aplicável

No que toca à legislação a aplicar na indústria em causa, as regulamentações aplicadas de forma geral ao edifício, encontram-se listadas e sumariadas abaixo:

- O decreto-lei nº 243/86, de 20 de agosto (Ministério do Trabalho e Segurança Social) remete para as condições de temperatura e humidade para a indústria. A temperatura dos locais de trabalho deve, na medida do possível, oscilar entre 18°C e 22°C, salvo em determinadas condições climáticas, em que poderá atingir os 25°C. [1]
- O decreto-lei nº 740/74, de 26 de dezembro (Ministério da Economia) aprova os regulamentos de segurança de instalações de utilização de energia elétrica. [2]
- O decreto regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações) valida as velocidades admitidas para redes de água de temperatura inferior a 60°C com valores entre 0,5 m/s e 2,0 m/s. [3]
- O decreto-lei nº 162/2019, de 25 de outubro (Presidência do Conselho de Ministros) é aplicável ao autoconsumo de energia a partir de fontes renováveis, referindo condições de certificados e licenças a cumprir. [4]
- O decreto-lei nº 266/2020, de 20 de março (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) reflete as condições de contratos de fornecimento ativo e transação de eletricidade excedente para venda em mercado. [5]

Relativamente à legislação a aplicar nos *chillers*, torres de arrefecimento e tubagens, as regulamentações aplicadas, que permitem o correto funcionamento e instalação destes componentes, estão listadas e abreviadas abaixo:

- A norma técnica ASTM A53/A53M-20 da *American Society for Testing and Materials* especifica os requisitos para tubos de aço carbono galvanizado, como diâmetro, espessuras de parede, temperaturas e pressões de trabalho. [6]
- A Portaria nº 138-I/2021, de 1 de julho (Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação) Anexo II remete para as espessuras mínimas, permitidas por lei, de isolamento em função da temperatura do fluido operante e diâmetro da tubagem. [7]
- A Norma Portuguesa editada de génese nacional NP EN 14511 estabelece os requisitos para equipamentos de climatização comerciais e industriais que utilizam fluido como meio de transferência de calor. [8]

### 2.4. Estudo Prévio - exemplo de aplicação

Antes de se proceder com o arranque do projeto fez-se um estudo de exemplo de aplicação ao enunciado, uma vez que este é abstrato. Tendo em conta as potências e diferenças de temperatura um exemplo encontrado é de uma rede de refrigeração para servir várias unidades de tratamento de ar para controlo de temperatura de um edifício.

## **3. Considerações gerais**

### **3.1. Localização – Aveiro**

Decidiu-se que seria mais didático se a localização escolhida para o projeto fosse Aveiro. Além de ser o local onde se encontra o estabelecimento de ensino, é do nosso conhecimento a existência de uma indústria em desenvolvimento no mesmo, o que tornaria mais realista a projeção de uma nova fábrica nesta localidade.

### **3.2. Requisitos funcionais (capacidade e potência)**

Com base nos requerimentos fornecidos no enunciado, procedeu-se ao cálculo dos requisitos funcionais, nomeadamente da capacidade e da potência.

Considerando o consumo total das máquinas e a sua eficiência chegou-se ao valor da carga térmica a dissipar de 1632kW. Por outro lado, considerando uma operação média das máquinas a trabalhar a 80% de carga, então a carga térmica média (das máquinas cliente) é de 1306kW.

O valor de 80% foi considerado com base no funcionamento em 3 turnos, dos quais nos 2 turnos diários as máquinas se encontram a operar a 100% e no turno da noite opera tipicamente a 50%.

### **3.3. Principais constrangimentos**

Existem vários constrangimentos que se terão de ter em conta durante o projeto. Por exemplo, é necessária a integração de uma fonte de energia renovável e a preparação do sistema para que seja capaz de funcionar a carga total de forma contínua (24 horas por dia), implicando este último a existência de redundância de equipamentos críticos, para prevenir uma paragem total em caso de avaria. Além disso, é imperativo que não se observe condensação no exterior da tubagem.

Será também indispensável prestar atenção aos equipamentos normalizados, visto que, embora permitisse aumentar em muito a otimização do sistema, o custo acrescido de peças personalizadas tornaria o projeto não viável de um ponto de vista económico. Vale notar que, além das normas, terá de se ter em atenção quaisquer regulamentos que se apliquem ao dimensionamento dos nossos componentes.

Finalmente, terão de ser analisadas as características climatéricas do local escolhido, de modo analisar temperatura de bulbo húmido, fator que poderá ditar a possibilidade de utilizar uma série de equipamentos como, por exemplo, torres de arrefecimento.

## 4. Componentes principais

### 4.1. Equipamento de produção e armazenamento de energia térmica

Entre as tecnologias principais de *chillers*: vapor-absorção e vapor-compressão, foi escolhida a de vapor-compressão, uma vez que no nosso projeto não temos água quente para poder ser aproveitada em *chillers* de absorção e como tal, tendo em conta já o seu COP (*coefficient of performance*) mais baixo, foi escolhida a tecnologia de vapor-compressão.

Dentro da tecnologia escolhida, há dois grandes tipos de *chiller*: a água e a ar. Os *chillers* a ar tipicamente têm um COP menor, mas a rede térmica é mais simples, uma vez que é apenas necessária uma rede de água (sem bombas extra nem torres de arrefecimento). Os *chillers* a água apresentam tipicamente um COP mais alto que os *chillers* a ar, mas requerem assim uma segunda rede de água com as respetivas bombas e torres de arrefecimento para rejeitar o calor para o exterior do edifício.

Foi então feita uma análise energética inicial para estimar qual a tecnologia que tivesse um gasto energético menor para um funcionamento com 80% de carga das máquinas cliente e uma carga térmica total (já a contar com os ganhos térmicos da temperatura exterior que vão ser explicados no 8. Equipamento de permuta de calor ).

**Tabela 3:** Gastos totais de *chillers* a água e ar, com carga térmica média total de 1312kW.

	Chiller a Água	Chiller a Ar
COP	6,34	4,97
Gasto Chiller (kW)	206,94	263,98
Bombas Extra (kW)	20,00	-
Torres extra (kW)	37,00	-
Bombas Máquinas cliente (kW)	17,7	17,7
Gasto total (kW)	281,64	281,68

Como mostra a **Tabela 3**, apenas para *chillers* a ar com um COP a partir de 4,97 é que essa opção se tornava mais económica. Como no mercado não foi encontrado um *chiller* a ar com essas características, optou-se assim por um *chiller* a água.

Depois de escolhida a tecnologia, foi também decidido que, apesar dos custos acrescidos, seria importante ter dois *chillers* em vez de apenas um, tendo em conta o requisito já anteriormente referido de operação de 24/7.

No que toca ao armazenamento de energia térmica, optou-se por não usar um tanque de inércia devido aos elevados caudais que requeriam um tanque de dimensões elevadas. Além disso, como temos um funcionamento das máquinas cliente em praticamente regime permanente consideramos que não compensa fazer uma análise energética e económica do sistema com armazenamento térmico.

### 4.2. Rede de distribuição de energia térmica

Uma vez que foi decidida a utilização do *chiller* a água, torna-se necessário a utilização de torres de arrefecimento. Assim sendo, passou-se a ter duas redes de água para a distribuição da

energia térmica. Uma rede de água para remoção do calor das máquinas cliente (até aos *chillers*) e outra dos *chillers* até às torres de arrefecimento e rejeição do calor para o exterior do edifício. É também de referir que o fluido de trabalho é água da rede.

### **4.3. Equipamento de permuta de energia térmica - Torres de arrefecimento**

#### **4.3.1. Tipos de circuito em torres de arrefecimento:**

As torres de arrefecimento podem ser divididas em dois grandes grupos, formados com base no seu tipo de circuito, ou seja, se têm circuito aberto ou fechado. [9]

Nas primeiras, que possuem circuito aberto, a água da rede entrará em contacto directo com o ambiente durante a troca de calor com o exterior. Algumas das vantagens que este tipo de circuito permite são, por exemplo, o seu custo de investimento inicial menor e a flexibilidade de expansão que advém do mesmo. A maior desvantagem que pode ser associada a este tipo de torres é a dificuldade de manter a torre a operar em condições ideais. Um circuito de água aberto implica uma abertura de um sistema, ou seja, poderá implicar a entrada de impurezas para a rede de água, que diminuirá a eficiência, tanto da torre de arrefecimento como do *chiller*. Este problema pode ser contornado, no entanto, adicionando um permutador de calor (junto com uma segunda rede de água), entre o *chiller* e a torre de arrefecimento, permitindo que a água que passa no *chiller* se mantenha livre de impurezas. Nesse caso, é também requerido que se adicione um filtro na saída de água da torre, para mitigar as impurezas que poderão prejudicar o funcionamento do permutador de calor.

No caso das que utilizam um circuito fechado, a água da rede não entra em contacto directo com o ambiente. Em vez disso, esta é conduzida através de tubos dentro da torre, tubos esses que são pulverizados com água, de modo a maximizar as trocas de calor com o ambiente. Estas torres são favoráveis por permitirem o isolamento da rede de água a arrefecer, impossibilitando a entrada de impurezas, quer para a água presente na rede, quer para os restantes componentes que a ela estão ligados, mantendo a sua eficiência por um período mais prolongado. No entanto, é de notar que, devido ao formato dos tubos, o custo inicial costuma ser maior que a alternativa. Além disso, se não forem tomadas ações preventivas através de anticongelantes, os tubos são suscetíveis a quebrar se se atingirem temperaturas muito baixas no inverno.

#### **4.3.2. Tipos de fluxo nas torres de arrefecimento:**

Em relação ao tipo de fluxo utilizado, no contra fluxo, como o nome indica, o fluxo da água vai ser de baixo para cima (contra a gravidade). Isto quer dizer que ter-se-ia a água quente a entrar na parte baixa da torre e a água fria a sair no cimo da mesma. Este tipo de fluxo costuma permitir uma diferença de temperatura entre a água de entrada e a água de saída menor, mas requer uma pressão de água maior e um sistema mais complexo, mais suscetível a falhas do que os presentes no fluxo cruzado. Vale notar que este tipo de fluxo costuma ser usado mais em torres de arrefecimento circulares.

Já no fluxo cruzado, a água quente entra em cima, fluindo, com a ajuda da gravidade, para o inferior da torre, onde sairá. A gravidade auxilia com a distribuição da água pelos tubos, permitindo uma redução do caudal em até 30%. Além disso, os seus sistemas, embora menos eficientes do que os do contra fluxo, requerem uma menor manutenção ao longo do seu já maior tempo de vida útil. Este tipo de fluxo é mais associado com torres de arrefecimento quadradas.

#### 4.4. Circulação de energia térmica/fluidos – Bombas

No que toca às bombas escolhidas, foi feita uma análise com base no requisito de operação de 24h/dia 7 dias/semana e decidiu-se ter redundância de bombas onde a falha de uma bomba implica o não funcionamento da rede inteira.

Ou seja, ter 2 bombas na rede das torres de arrefecimento e ter 2 bombas principais na rede das máquinas cliente. Além dessas bombas escolheu-se ter uma bomba por máquina cliente de modo a conseguir controlar melhor a perda de carga em ramos paralelos para assegurar o funcionamento da rede.

No que toca à sua arquitetura, escolheu-se bombas de velocidade variável, que permitem regular a altura manométrica fornecida à água para o mesmo caudal e ter mais margem para operar com requisitos de caudal diferentes, ao contrário de bombas de velocidade constante.

Em suma, ter bombas nos ramos das máquinas cliente e estas serem de velocidade variável, permite com maior facilidade regular as perdas de carga em ramos paralelos para assegurar o funcionamento do sistema.

#### 4.5. Monitorização e controlo

Para um correto e eficiente funcionamento do projeto, de modo a monitorizar e a controlar o processo de refrigeração de máquinas, deve-se supervisionar o caudal, temperatura e pressão dos pontos do sistema de distribuição de energia térmica. Certificou-se que atuadores elétricos sejam integrados nas válvulas.

Selecionaram-se válvulas globo para controlo do sentido, regulação e/ou bloqueio do fluxo de água para os andares, antes das máquinas cliente e para direcionar o fluxo num único sentido (funcionando como válvulas de retenção) a seguir às bombas e máquinas, pois garantem que não há refluxo de fluido para trás, impedindo que estas sejam danificadas. Além disso, optou-se por válvulas borboleta para bloqueio das secções de tubos que estão em paralelo, onde se localizam os pares de bombas, *chillers* e torres de arrefecimento. As válvulas globo que têm função de retenção não necessitam de qualquer dispositivo de controlo, pois a sua estrutura mecânica não permite o retrocesso do fluído quando esta se encontra totalmente fechada. Este processo foi feito com o auxílio da tabela 4.5 de [10] e a página 124 de [11].

O tipo de ligação ou montagem destes componentes mecânicos é flangeada.

#### 4.6. Quadro elétrico - Rede das máquinas cliente

Quanto ao quadro elétrico do circuito das máquinas cliente, foram consultados os catálogos dos equipamentos escolhidos e recolhidos os dados elétricos, presentes tabela que consta no Anexo A: Quadro Elétrico. O diagrama de ligações elétricas do modelo do *chiller* escolhido no 5. Equipamento de Produção de Frio encontra-se no Anexo B: Diagrama elétrico do *chiller* escolhido, sendo possível consultar também os diagramas elétricos das bombas escolhidas no Anexo C: Diagrama elétrico das bombas escolhidas.

## 5. Equipamento de Produção de Frio

### 5.1. Descrição do equipamento

Como foi referido anteriormente, o equipamento principal de produção de frio é um *chiller* a água. Depois de fazer uma análise do mercado e comparação geral de valores de COP entre equipamentos, procurando os valores máximos possíveis, foi escolhido o fornecedor *AquaForce*.

Nesse fornecedor foi escolhido o catálogo das gamas 30XW de *chillers* a água, pela sua capacidade de refrigeração alta necessária para o nosso projeto. São do tipo compressor de parafuso de rotor duplo, de velocidade variável de modo conseguir nivelar a capacidade de arrefecimento em função da carga térmica. [12]

### 5.2. Seleção/dimensionamento

O *chiller* em específico foi escolhido para ser aquele mais eficiente a operar nas condições médias, ou seja, com uma carga térmica média (total) de 1312kW (no entanto também se fez uma análise económica para outros valores de carga térmica). Fez-se então uma comparação económica entre os *chillers* desse catálogo para determinar qual o *chiller* que apresentava menores custos no tempo de vida do projeto (vinte anos) em que a maior fatia seria a dos custos energéticos. Na **Tabela 4**, é possível ver essa comparação.

**Tabela 4:** Custo total do chiller escolhido com base na capacidade utilizada.

Redundância <i>Chiller</i>	[%]	100%	90%	80%	70%	60%
<i>Chiller</i> Ideal	[kW]	1640	1476	1312	1148	984
<i>Chiller</i> Real	[kW]	1747	1489	1340	1075	1147
Modelo <i>Chiller</i>	[-]	1712P	1501P	1351P	1052P	1052P
COP	[-]	6,17	6,34	6,34	5,99	5,98
Custo 2 <i>Chillers</i>	[€]	248375	211695	190511	152836	163072
Manutenção	[€]	1242	1058	953	764	815
Seguro	[€]	7451	6351	5715	4585	4892
Consumo Energético	[MWh]	1862	1812	1812	1918	1921
Custo Energético	[€]	409803	398815	398815	422118	422824
Custo Investimento	[€]	248375	211695	190511	152836	163072
Custo Total	[€/ano]	418496	406224	405483	427467	428531

O *chiller* escolhido 30XW-P 1351P, com suas as especificações no Anexo D: Especificações do *chiller Aquaforce* 30XW-P 1351P, tem um COP de 6,34 e capacidade de refrigeração de 1340kW. O tempo de vida útil estimado é de 20 anos.

### 5.3. Requisitos de instalação

A opção escolhida de *chiller* é a mais económica para operar nas condições médias de funcionamento como mostrado anteriormente. Sendo que foram escolhidos 2 *chillers* estes têm uma capacidade total de refrigeração combinada de 2680kW, tendo assim capacidade 1,6 vezes superior à carga térmica total esperada em condições normais (1640kW) com as máquinas cliente a 100% de carga. Ou seja, existe margem na capacidade de refrigeração para lidar com condições da temperatura ambiente superiores à média considerada de 20°C.

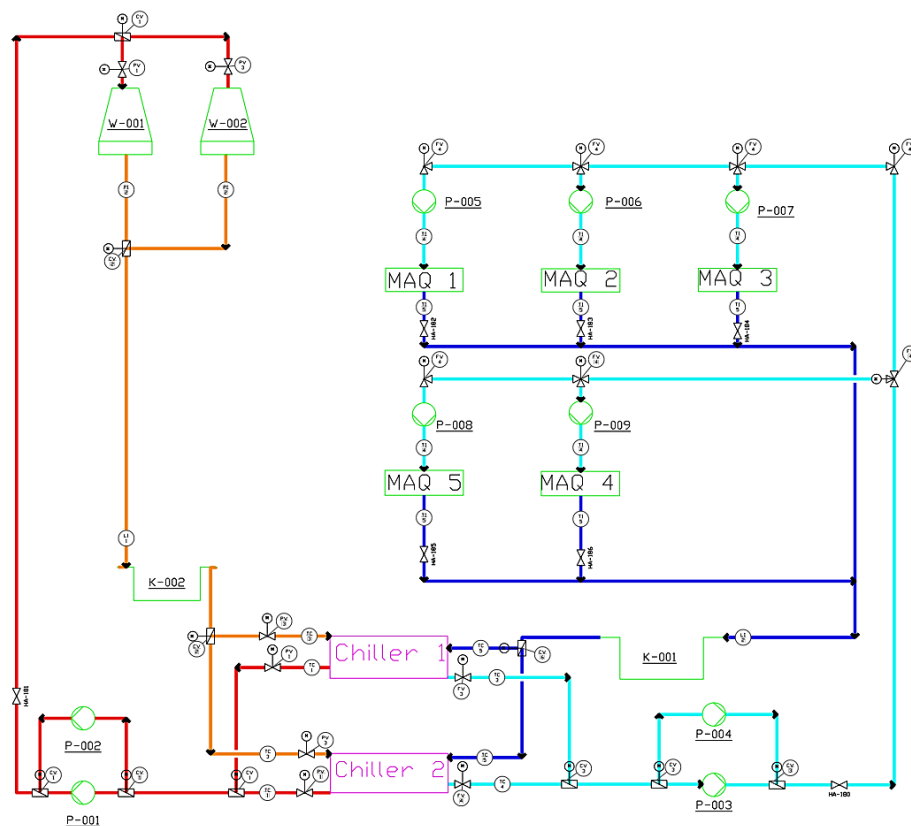
Apenas no caso de avaria e/ou manutenção de um dos *chillers* é que será necessário operar as máquinas cliente, de forma contínua, a 80% de carga ou menos.

## 6. Rede de Frio

### 6.1. Descrição detalhada da rede e PI&D

O sistema térmico será composto por duas redes de água, ambas passando pelos dois *chillers*. Cada rede de fluídos está equipada com um tanque de modo a armazenar a água.

No que toca à disposição das máquinas cliente, das tubagens e dos restantes equipamentos, foi escolhida uma disposição com o objetivo de minimizar as perdas de carga. Assim, as máquinas cliente com menores caudais ficaram no piso superior, tendo o cuidado de manter as máquinas de cada piso com maior caudal mais perto do *chiller*.



**Figura 1: Diagrama PI&D.**

- Legenda:
- Válvula global de controlo com Atuador Elétrico
  - Válvula global
  - Válvula de controlo de Caudal ou de Pressão
  - Controlador ou Indicador de Temperatura
  - Controlador de Pressão
  - Indicador de Nível

**Figura 2: Legenda do diagrama PI&D.**



Ao longo da rede das máquinas cliente existem na totalidade sete bombas, duas principais de circulação (redundantes e com operação em simultâneo) e as restantes sendo cada uma por máquina cliente. Já no que toca à rede das torres de arrefecimento existem na totalidade duas bombas (redundantes e com operação em simultâneo).

No diagrama PI&D apresentado na Figura 1 (com a respetiva legenda na Figura 2), estão visíveis as duas redes referidas e os seus componentes. No lado direito encontra-se representado o circuito de água para refrigeração das máquinas cliente, sendo na tubagem desenhada a ciano onde circula a água a 7°C até essas máquinas e a azul-escuro a que retorna ao *chiller* a 14°C;

Já no lado esquerdo, está retratado o circuito das torres de arrefecimento, sendo este responsável por arrefecer o fluído do anterior. Aqui, a tubagem pela qual a água que retira calor do *chiller* se dirige para as torres de arrefecimento encontra-se colorida a vermelho, estando a laranja a tubagem da água fria da rede que regressa aos *chillers*.

### 6.3. Requisitos operacionais: potências e caudais

De modo a dimensionar o caudal para a rede das máquinas-cliente, foi necessário ter em conta os dados já fornecidos no enunciado. Sabe-se que a potência de refrigeração, para uma carga de 100%, necessária para as máquinas cliente é de 1632 kW, bem como a temperatura fria (7°C) e a temperatura quente (14°C). Assim, podemos utilizar a equação (1) para a determinação do caudal mássico da rede:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{saída} - T_{entrada}) [kg/s] \quad (1)$$

Sabe-se que o  $c_p$  é de 4191 [J/K kg] nesta gama de temperaturas. Este valor foi retirado de [13], sendo esta a fonte também para os futuros valores de  $c_p$  utilizados ao longo do projeto. A tabela com os valores para as diferentes temperaturas pode ser consultada no Anexo E: Calor específico da água líquida entre os 0 e .

Reunidos os valores de todas as variáveis, foram obtidos os caudais mássicos para a rede das máquinas cliente como mostra a **Tabela 5**:Especificações das máquinas cliente.

**Tabela 5:**Especificações das máquinas cliente

		Potência [kW]	Caudal [kg/s]
Piso 1	Máquina 4	611,9	20,9
	Máquina 5	489,1	16,7
	Total Piso 1	1101,1	37,5
Piso 2	Máquina 1	41,3	1,4
	Máquina 2	204,4	7,0
	Máquina 3	285,9	9,7
	Total Piso 2	531,5	18,1
Total		1632,6	55,7

### 6.4. Acessórios de monitorização e controlo

Na escolha dos acessórios de monitorização e controlo, os parâmetros a monitorizar são o caudal, a temperatura e a pressão.

O controlo do caudal será feito pelos atuadores elétricos de modulação implementados nas válvulas globo, garantindo a sua regulação dos diferentes níveis de funcionamento das máquinas cliente ou bloqueio no caso uma delas não estar em funcionamento ou em manutenção. Para direcionar o fluxo de água para uma das bombas, *chillers* ou torres de arrefecimento caso um desses componentes esteja em manutenção, selecionou-se válvulas borboleta integradas com atuadores elétricos de modo *on/off*.

A monitorização da temperatura e da pressão será efetuada com sensores inseridos nas tubagens e nas válvulas globo respetivamente. Atentamente, instalar-se-á sensores de temperatura quer à entrada e saída das máquinas cliente a fim de controlar se a de entrada não excede os 7°C e a de saída os 14°C e nos reservatórios, quer nos tubos que antecedem os *chillers* e as torres de arrefecimento e montar-se-á sensores de pressão no circuito das torres de arrefecimento, visto que há temperaturas mais altas do que no circuito de refrigeração das máquinas.

No Anexo G: Características das válvulas, atuadores e sensores, pode-se visualizar os acessórios mais atentamente, somando um total de 32 válvulas com os respetivos atuadores, 18 sensores de temperatura e 6 sensores de pressão.

### 6.5. Dimensionamento hidráulico (tubos)

O dimensionamento hidráulico foi realizado seguindo os seguintes passos: definição do comprimento dos tubos; cálculo dos caudais locais; cálculo dos diâmetros teóricos; escolha do diâmetro normalizado; cálculo das velocidades reais.

A definição dos comprimentos dos tubos foi feita com suporte do modelo CAD 3D realizado da fábrica e da distribuição geométrica da tubagem, máquinas cliente e restantes equipamentos. Através desse modelo CAD realizou-se um inventário com todas as tubagens e componentes.

O cálculo dos caudais locais origina do consumo energético das máquinas clientes como foi visto na Tabela 5.

Tendo definido o caudal local foi assumida uma velocidade mínima admissível de 1,5m/s que é também restrita pelo decreto regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto [15], e considerando uma velocidade máxima admissível de 2,5m/s e calculou-se o diâmetro teórico admissível máximo e mínimo respetivo recorrendo às equações (2) e (3). Finalmente, com base nesses cálculos foi feita então a seleção preliminar dos diâmetros normalizados. Após isso fez-se os cálculos das velocidades reais com os diâmetros normalizados.

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot D_{max}^2}{4} \cdot v [m^3/s] \quad (2)$$

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot D_{min}^2}{4} \cdot v [m^3/s] \quad (3)$$

### 6.6. Seleção de tubagens, isolamentos e tanques

Na escolha das tubagens teve-se em conta quatro principais opções: tubos de materiais poliméricos, cobre, aço comercial e aço inoxidável. Optou-se por escolher aço comercial com *schedule 40* uma vez que oferecia uma boa resistência mecânica e não teria um custo muito elevado quando comparado com o aço inoxidável.

O fornecedor que escolhemos foi a empresa *Wheatland Tube*, com o catálogo específico de tubos, retirado de [17]. Um excerto do catálogo também poderá ser consultado em Anexo H: Excerto do catálogo de tubos vendidos pela Wheatland Tubes

No que toca à escolha do isolamento, como propostas iniciais estiveram coquilhas e pranchas em rolo, no âmbito de facilitar a instalação e diminuir os riscos do processo optou-se por pranchas em rolo. Para a escolha do fornecedor, escolheu-se a *Armacell*, por ser o primeiro fabricante de isolamento térmico flexível a apresentar a declaração ambiental de produto (EDP) 31. Para o material, escolheu-se um com uma condutibilidade térmica baixa e seguiu-se o recomendado pela empresa para a aplicação em causa, assim sendo, o material é espuma elastomérica flexível (FEF) à base de borracha sintética, fabricada segundo a norma EN 14304 [18], com uma condutibilidade térmica de  $0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ .

Relativamente a componentes de armazenamento de fluido, o vaso de expansão não foi escolhido, os motivos que levaram à ausência do vaso de expansão foram o facto de no projeto em causa não estarem programadas grandes oscilações no que toca a pressões que possam danificar os restantes componentes do sistema e o facto do tanque escolhido apresentar membrana. O tanque escolhido é fornecido pela *Ekin Global*, tem uma capacidade de 10000 L e é construído com aço comercial [19]

Por outro lado, instalado em conjunto com o tanque, encontra-se também um sistema de degaseificação, que se certifica de manter a água isenta de ar. O sistema *Vacumat Eco 600* [20] é adquirido à empresa *Flamco* e vão ser necessárias 2 unidades para o correto funcionamento de todo o sistema.

## 7. Análise e otimização da rede de distribuição de frio

### 7.1. Seleção dos objetos da análise

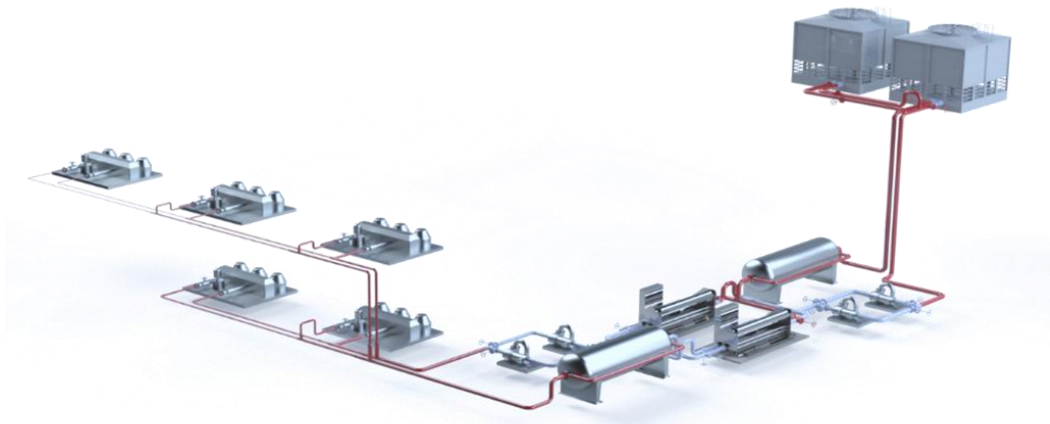
Neste projeto foi decidido que os dois objetos de otimização seriam o diâmetro dos tubos, e a espessura de isolamento, mantendo o material em ambos os casos.

### 7.2. Otimização dos diâmetros da tubagem

De modo a encontrar o diâmetro económico é necessário ter em conta quer as perdas de carga (que levam a um maior custo energético) quer o custo inicial e manutenção das tubagens.

No que toca aos tubos que foram alvo de estudo, os mesmos encontram-se ilustrados, na Figura 3: Esquema representativo das tubagens alvo de otimização., a vermelho, sendo estes estudados por ramos, um ramo representa um conjunto de tubagens de igual caudal. Os restantes tubos de cor branca não foram otimizados, uma vez que para o seu reduzido comprimento não se justificava a otimização, pois estes encontram-se ligados a componentes como *chillers* e bombas que apresentam diâmetros específicos para as respetivas vias de circulação de fluido, ou seja, a sua alteração iria implicar redutores e expansores o que aumentaria a complexidade e as perdas de carga do sistema, assim sendo, foi simplificada a análise.

De modo a explicar todo o estudo e processo de otimização segue-se um *workflow* geral que remete para a explicação ordenada de todas as etapas para se atingir o diâmetro económico em cada caso. Para a execução do estudo foi utilizado o programa *Engineering Equation Solver* da *F-Chart Software*.



**Figura 3:** Esquema representativo das tubagens alvo de otimização.

Primeiro é necessário definir uma função-objetivo (4) que representa o Custo total anual da rede da tubagem em função do diâmetro do tubo, o custo referido é o que se pretende minimizar, permitindo assim obter o diâmetro económico. De modo a melhor caracterizar o Custo total anual da rede da tubagem, decompõe-se a função (5) na soma de outras quatro parcelas. As parcelas que fundamentam as equações encontram-se definidas abaixo.

$$AC_T = f(D) \quad (4)$$

$$AC_T = AC_P + AC_H + AC_M + AC_E \quad (5)$$

$AC_T$ -Custo total anual da rede da tubagem [€]

$D$ -Diâmetro do tubo [inches]

$AC_P$ - Custo anual da tubagem instalada [€]

$AC_H$ -Custo anual de componentes associados [€]

$AC_M$ -Custo anual de manutenção [€]

$AC_E$ -Custo anual de energia para vencer perdas de carga [€]

No que toca ao Custo anual da tubagem instalada ( $AC_P$ ) por unidade de comprimento, o mesmo é baseado no dados recolhidos por *Darby* e *Melson* em 1980 [10]. Esta análise resultou na equação (6) que inclui uma taxa de aumento ( $e$ ) para que seja possível ter em conta a inflação no ano em análise e conta também com um fator de recuperação de capital ( $crf$ ). De notar ainda, que se recorreu à tabela 4.17 de [10] para preencher as constantes em falta, ( $C_1$ ) e ( $s$ ).

$$\frac{AC_P}{L} = (crf)(1+e)^{(yr-1980)} C_1 D^s \text{ [€/m]} \quad (6)$$

O seguinte componente a definir é o Custo anual de componentes associados ( $AC_H$ ) que é considerado um múltiplo  $F$  do custo inicial de tubagem instalada,  $F$  varia entre 6 e 7 para redes com bombas [10]. Assim, o segundo parâmetro por unidade de comprimento define-se através da equação abaixo.

$$\frac{AC_H}{L} = (crf)F(1+e)^{(yr-1980)} C_1 D^s \text{ [€/m]} \quad (7)$$

Para a terceira parcela, o Custo anual de manutenção ( $AC_M$ ) é geralmente estimado como sendo uma pequena fração ( $b$ ) do custo total da instalação da tubagem e dos componentes. Esta fração é geralmente expressa em percentagem e pode variar entre 1% e 2% do custo total [10]. Deste modo, resulta a equação abaixo para caracterizar este parâmetro por unidade de comprimento.

$$\frac{AC_M}{L} = b(1+F)(1+e)^{(yr-1980)} C_1 D^s \text{ [€/m]} \quad (8)$$

Ao adicionar os três parâmetros anteriores, custos anuais da tubagem, componentes e manutenção, que estão definidos por unidade de comprimento é possível simplificar a expressão através da multiplicação pelo comprimento da tubagem. Assim, resulta a equação (9).

$$AC_P + AC_H + AC_M = L(crf+b)(1+F)(1+e)^{(yr-1980)} C_1 D^s \text{ [€]} \quad (9)$$

Resta agora proceder à definição do último custo, que está associado ao custo da energia para vencer as perdas de carga ( $AC_E$ ). Este custo depende da bomba em causa, uma vez que na

expressão (10) ( $C_2$ ) corresponde ao custo da energia, ( $t$ ) ao tempo anual de operação e ( $\eta$ ) à eficiência da bomba.

$$AC_E = \frac{C_2 \dot{W} t}{\eta_p} [\text{€}] \quad (10)$$

Em que ( $\dot{W}$ ) remete para a potência fornecida ao fluido, de densidade ( $\rho$ ), para compensar as perdas de carga representadas pelo fator ( $\sum K_i$ ) e pode ser definido pela equação (11).

$$\dot{W} = \frac{8m^3}{\pi^2 \rho^2 D^4} (f \frac{L}{D} + \sum K_i) [\text{J/s}] \quad (11)$$

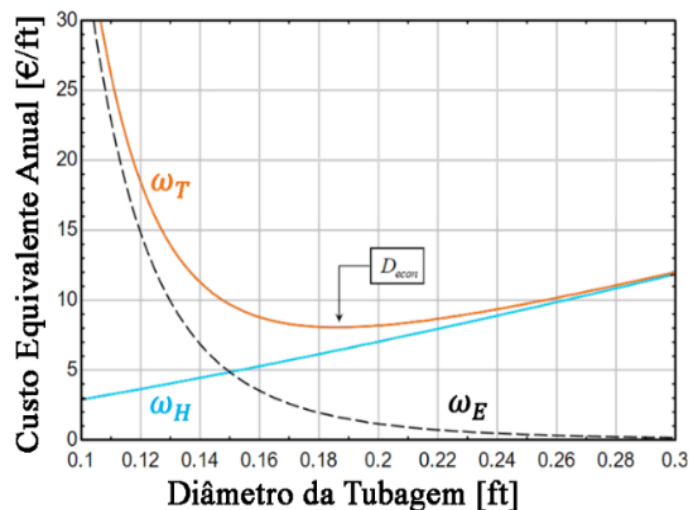
Simplificando então a expressão (10) é possível obter a identidade do Custo anual de energia para vencer as perdas de carga, obtém-se a seguinte equação.

$$AC_E = \frac{8m^3 C_2 t}{\eta_p \pi^2 \rho^2 D^4} (f \frac{L}{D} + \sum K_i) [\text{€}] \quad (12)$$

Finalmente, encontram-se reunidas todas as condições para proceder ao cálculo do Custo total anual da rede de tubagem ( $AC_T$ ), representado pela seguinte equação.

$$AC_T = L(\text{crf} + b)(1 + F)(1 + e)^{(\text{yr} - 1980)} C_1 D^S \frac{8m^3 C_2 t}{\eta_p \pi^2 \rho^2 D^4} (f \frac{L}{D} + \sum K_i) [\text{€}] \quad (13)$$

Uma vez que já se reúnem todas as condições necessárias para proceder à otimização do diâmetro da tubagem, inserem-se estas equações no *software Engineering Equation Solver* e preenchem-se os parâmetros que validem cada caso em estudo de modo a obter o valor que minimize ( $AC_T$ ). Assim, para cada ramo, procurou-se obter um mínimo da função representada como ( $\omega_T$ ), que está exemplificada a laranja, e resulta da soma de ( $\omega_H$ ) com ( $\omega_E$ ). A função ( $\omega_H$ ) é a soma dos três primeiros custos explicados anteriormente e ( $\omega_E$ ) simboliza o Custo anual de energia para vencer as perdas de carga.



**Figura 4:** Representação das funções Custo em função do Diâmetro da Tubagem.

Após se retirarem os diâmetros económicos para cada ramo em estudo, é necessário compará-los com os diâmetros normalizados disponíveis pelo fornecedor em causa, acabando por

se aproximar o valor obtido ao mais próximo do catálogo, garantindo assim a melhor escolha possível.

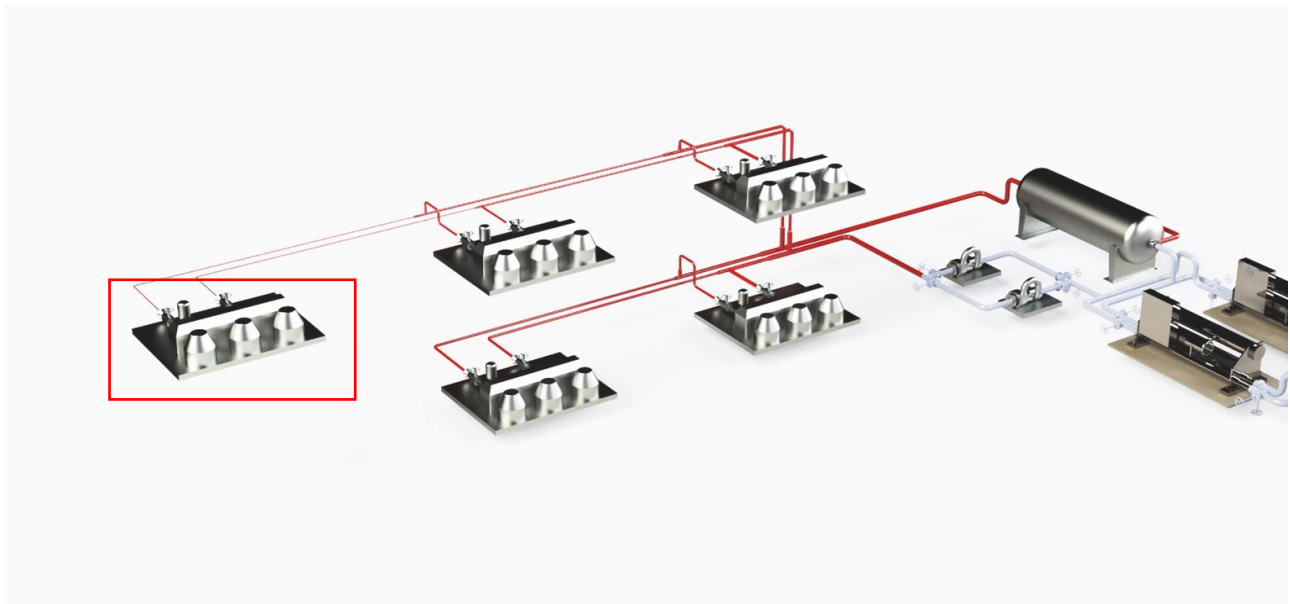
Em suma, a otimização do diâmetro de tubulações é uma prática importante que pode ajudar a minimizar custos, maximizar a eficiência e garantir a segurança e conformidade regulatória em sistemas de transporte de fluidos. Na tabela (1) é possível ver, para cada um dos ramos considerados, as alterações de diâmetro que ocorreram e otimizaram o sistema.

***Tabela 6: Alterações de Diâmetro em cada Ramo Estudado.***

Ramos	Caudal	Diâmetro Atual	Diâmetro Otimizado	Diâmetro Otimizado Normalizado
	[L/s]	[polegadas]	[polegadas]	[polegadas]
RT_CP	86,2	10	10,64	10
RT_A	43,1	10	7,56	8
RM_CP	56	8	8,20	8
RM_1A	37,5	6	6,84	6
RM_1B	16,7	4	4,44	4
RM_2A	18,1	5	4,68	5
RM_2B	8,4	5	3,24	3
RM_2C	1,4	1	1,32	1,25

### **7. 3. Dimensionamento e otimização do isolamento térmico**

No que toca à espessura de isolamento, a zona da tubagem que foi alvo de estudo encontra-se representada na figura abaixo a vermelho e representa grande parte da rede das máquinas. As restantes tubagens da rede das máquinas não sofreram otimização a nível de espessura de isolamento, uma vez que não apresentam comprimentos que justifiquem o estudo. No que toca às tubagens relativas à rede das torres, estas operam em temperaturas superiores à temperatura ambiente, e sendo do interesse do projeto a perda facilitada de calor nesses ramos, essa zona não é isolada.



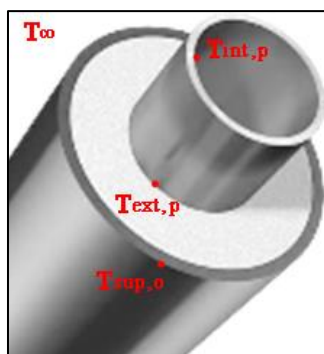
**Figura 5:** Esquema representativo dos isolamentos alvo de otimização.

De modo a detalhar as etapas percorridas ao longo do processo, segue-se um *workflow* que fornece uma visão geral dos passos percorridos. Para a facilitar o registo de todo o processo foi feita a combinação do *Excel* com o *Engineering Equation Solver*, um para guardar os dados e o outro para executar os cálculos.

Para a otimização da espessura de isolamento foi considerado regime estacionário, unidimensional e escoamento completamente desenvolvido, no que toca à temperatura exterior a mesma considerou-se a 20°C, já os tubos foram todos considerados horizontais e desprezou-se a resistência térmica de contacto entre o tubo e isolamento.

Para cada análise, considerou-se um tubo horizontal isolado que se encontra em contacto com o exterior, sabendo que a temperatura do fluido transportado (água) é inferior à temperatura ambiente, a temperatura da água irá aumentar à medida que o tubo ganha calor. De forma a caracterizar as variáveis do problema (figura 6), considera-se ( $T_{inW}$ ) a temperatura de entrada da água no tubo e ( $T_{outW}$ ) a temperatura de saída. No que toca às temperaturas do tubo na face interior e na face exterior, estas denominam-se de ( $T_{int,P}$ ) e ( $T_{ext,P}$ ) respetivamente. Considere-se a temperatura interior do isolamento igual à temperatura exterior do tubo e a temperatura à superfície do isolamento ( $T_{sup,O}$ ). Finalmente, ( $T_{\infty}$ ) representa a temperatura ambiente.

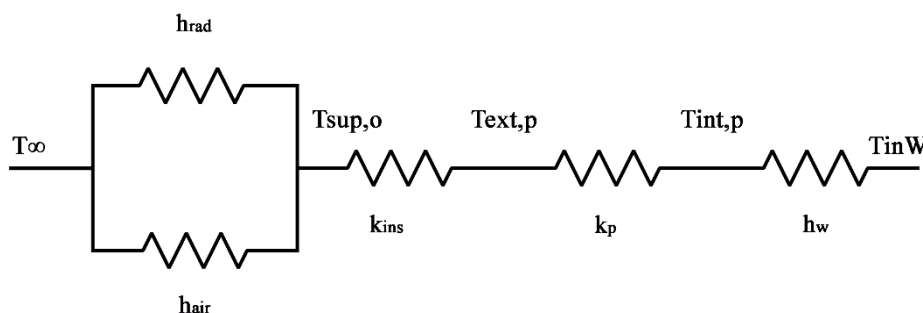




**Figura 6:** Representação do estudo caracterizado.

Para entender e analisar os fenômenos de transferência de calor, é possível usar o conceito de resistências térmicas, assim ilustrou-se o estudo em causa, representando graficamente as resistências associadas ao problema (**Figura 7**). Em primeiro lugar apresenta-se em paralelo o calor transferido por radiação e convecção pelo ar, seguindo-se de condução de calor na direção radial do isolamento e posteriormente também pela espessura do tubo, por fim dá-se convecção interna.

No que toca às tubagens que vão ser alvo de estudo, estas podem ser divididas em dois grandes grupos, um relativo ao conjunto de tubagens que transportam água até às máquinas (1), o outro categoriza as tubagens que transportam o fluido até aos *chillers* (2). Assim, foi estudado o pior caso, a máquina 1, assinalada na Figura 7, para esta máquina, uma vez que o percurso é o de maior comprimento, projeta-se de modo a garantir a temperatura à entrada dessa máquina como 7°C. Seguindo esse raciocínio, se progredirmos da máquina em direção ao *chiller* pode-se estabelecer a temperatura à saída ( $T_{outW}$ ) do primeiro tubo como 7°C. Para o raciocínio inverso, o da rede de transporte de fluido da máquina para os *chillers*, é possível assumir a temperatura à entrada ( $T_{inW}$ ) do primeiro tubo como 14°C. Desta forma é possível saber para cada tubo, a sua temperatura, a quantidade de calor transferido ( $\dot{Q}$ ), as temperaturas de entrada e saída do fluido e temperaturas do isolamento.



**Figura 7:** Esquema de resistências térmicas.

Posteriormente à análise do tipo de problema em questão, é agora necessário compreender que se têm 5 incógnitas, analisando o grupo de tubagens que transporta água até às máquinas, as incógnitas encontram-se referidas na Tabela 7: Incógnitas a considerar em cada caso de estudo.. Já para o outro grande conjunto, como é visível abaixo, apenas se altera uma incógnita, refletindo assim a mudança do sentido do percurso do fluido.

**Tabela 7:** Incógnitas a considerar em cada caso de estudo.

	Até à máquina	A partir da máquina
Temperatura da água à entrada/saída do tubo [°C]	T <sub>in,W</sub>	T <sub>out,W</sub>
Fluxo de Calor [W]	$\dot{Q}$	$\dot{Q}$
Temperatura na face interior do tubo [°C]	T <sub>int,P</sub>	T <sub>int,P</sub>
Temperatura na face exterior do tubo [°C]	T <sub>ext,P</sub>	T <sub>ext,P</sub>
Temperatura à superfície do isolamento [°C]	T <sub>sup,O</sub>	T <sub>sup,O</sub>

No que toca às equações a considerar para a análise, para o sistema de 5 incógnitas são necessárias 5 equações principais, as mesmas encontram-se descritas nas linhas subsequentes.

$$\frac{T_{\infty}-T_{out,W}}{T_{\infty}-T_{in,W}}=e^{-\left(\frac{1}{R_{tot}\cdot\dot{m}\cdot C_w}\right)} \quad (14)$$

$$\dot{Q}=\frac{T_{sup,O}-T_{\infty}}{R_{T,hair}} \quad (15)$$

$$\dot{Q}=\frac{T_{ext,P}-T_{\infty}}{R_{k,ins}+R_{T,hair}} \quad (16)$$

$$\dot{Q}=\frac{T_{int,P}-T_{\infty}}{R_{k,p}+R_{k,ins}+R_{T,hair}} \quad (17)$$

$$\dot{Q}=\dot{m}\cdot C_v\cdot(T_{in,W}-T_{out,W}) \quad (18)$$

De modo a complementar as equações anteriores é necessário calcular a resistência térmica total, para progredir com o processo, as equações apresentadas abaixo remetem para os cálculos de cada uma das etapas relativas às resistências térmicas ilustradas na Figura 7. Para auxiliar estes cálculos recorreu-se ao *Engineering Equation Solver*, uma vez que este permite com facilidade, recorrendo à sua base de dados, preencher os parâmetros necessários para a realização dos cálculos. De salientar que estas equações representam os fenómenos térmicos ocorridos em cada secção do problema em causa. Assim, é possível visualizar, em cada uma, os parâmetros determinantes, como coeficientes de convecção e condução e diâmetros relativos às zonas em análise.

$$R_{Tot}=R_{h,W}+R_{k,p}+R_{k,ins}+R_{T,hair} \quad (19)$$

$$R_{h,W}=\frac{1}{h_W\cdot\pi\cdot D_{int,P}\cdot L} \quad (20)$$

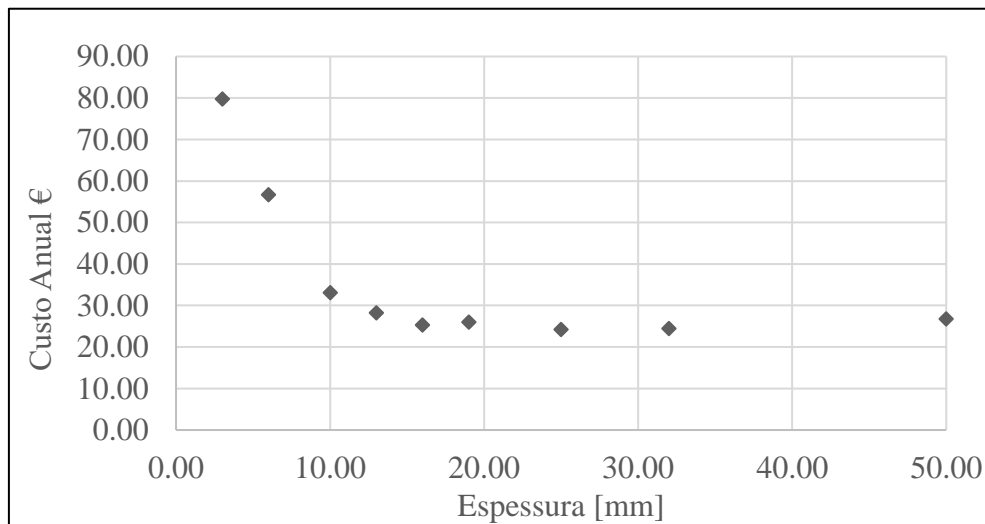
$$R_{k,p}=\frac{\ln\left(\frac{D_{ext,P}}{D_{int,P}}\right)}{2\pi\cdot K_p\cdot L} \quad (21)$$

$$R_{k,ins}=\frac{\ln\left(\frac{D_{sup,O}}{D_{ext,P}}\right)}{2\pi\cdot K_{ins}\cdot L} \quad (22)$$

$$R_{T,hair}=\frac{1}{h_{T,hair}\cdot\pi\cdot D_{sup,O}\cdot L} \quad (23)$$

Para otimizar a espessura de isolamento de forma contínua é necessário utilizar uma função que permite identificar o custo por m<sup>2</sup> em função da espessura, uma vez que essa função representa uma estimativa na qual não teríamos confiança, devido ao facto de não termos dados suficientes

que permitam fazer uma válida interpolação, optou-se por fazer uma análise discreta para as espessuras de isolamento fornecidas pelo fabricante, visto que para cada espessura existe um custo específico. Ou seja, fez-se o estudo para todas as tubagens, de cada conjunto, com todos os isolamentos disponíveis, registando-se o comportamento para cada situação. Com os resultados de cada análise é possível analisar para cada tubo, o custo total de isolamento, o calor transferido, o custo do calor transferido anual, o custo de isolamento anual e finalmente o custo total anual, sendo possível consultar estes custos na tabela que consta no Anexo I: Tabela-resumo de custos em função da espessura do isolamento. Através do custo total anual, é possível, em função da espessura de isolamento, gerar um gráfico, para cada tubo como por exemplo, com o objetivo de visualizar o mínimo da função elaborada e concluir assim qual é o valor aproximado de espessura otimizada.



**Figura 8:** Gráfico de custos anuais em função da espessura de isolamento para o Tubo 1 do Grupo 1.

Uma vez efetuado todo o processo para os dois conjuntos em análise, registam-se as seguintes conclusões, para todos os tubos as espessuras de isolamento que otimizam o custo são inferiores às espessuras mínimas referidas na legislação Portaria nº 138-I/2021, de 1 de julho [7] (consultáveis no Anexo J: Espessuras mínimas de isolamento referidas na legislação Portaria nº 138-I/2021, de 1 de julho). Além disso, é de referir que se optou por não ter controlo de temperatura ativo à entrada das máquinas cliente, uma vez que, dadas as baixas diferenças de temperatura (com o isolamento escolhido) entre o *chiller* e as máquinas cliente, consideramos que os requisitos de operação seriam na mesma cumpridos.

Por outro lado, foi também verificado que para o isolamento escolhido, não existe condensação do exterior do isolamento (com temperatura de cerca de 20°C no seu exterior) para as condições de 20°C e 50% de humidade relativa máxima de temperatura ambiente.

Em suma, todas as tubagens, incluindo as que não foram alvo de estudo, apresentadas na Figura 5: Esquema representativo dos isolamentos alvo de otimização, vão ser isoladas com as espessuras mínimas exigidas pelas regulamentações, os valores encontram-se registados na Tabela

**Tabela 8:** Diâmetros exteriores e respetivas espessuras de isolamento para cada tubo.

Grupo	Diâmetro Exterior	Espessura de Isolamento
	[polegadas]	[mm]
Até à máquina (1)	1,66	32
	3,5	32
	5,563	50
	8,625	50
	4,5	50
	6,625	50
A partir da máquina (2)	1,66	25
	3,5	32
	5,563	32
	8,625	32
	4,5	32
	6,625	32

## 8. Equipamento de permuta de calor

### 8.1. Características do equipamento escolhido

Quando tido em conta todos os fatores, aquelas que, inicialmente, parecem ser as vantagens das torres com circuito aberto, acabam por ser mitigadas ao tentar-se reduzir a diferença em eficiência quando comparadas com as de circuito fechado. A adição de mais um permutador de calor, outra rede de água, bem como a manutenção do filtro de água, torna bem menos substancial a diferença de capital necessária para este tipo de torres. Devido a isto, optou-se por escolher uma torre de circuito de água fechado.

Como já foi mencionado, pretende-se que exista redundância de todos componentes considerados críticos para o sistema, sendo a torre de arrefecimento um destes componentes. Isto quer dizer que, normalmente, as torres de arrefecimento estarão a trabalhar a metade ou menos da sua capacidade total. Para tal, decidiu-se que se deveria utilizar uma torre com fluxo cruzado, visto que esta permite uma redução do caudal maior do que as de contra fluxo.

### 8.2. Especificação/dimensionamento térmico e hidráulico

Para definir a rede de água das torres, foi necessário retornar às especificações do *chiller* escolhido. No catálogo do mesmo, é mencionado que, para uma temperatura ideal de 29,4°C no condensador, o caudal deveria ser de 0,054 litros por segundo, por cada quilowatt de calor a expelir [12]. Sabe-se então que:

$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \quad (=) \dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \text{ [kg/s]} \quad (24)$$

Reutilizando a equação (1), sabe-se que o  $c_p$  da água é de 4,18kJ·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> a esta temperatura e que a densidade da mesma é de 995,6 kg/m<sup>3</sup>. Substitui-se então o caudal mássico pelo produto da densidade pelo caudal volúmico. Isola-se a temperatura de saída, obtendo a função seguinte:

$$T_{saída} = \frac{I}{\frac{\dot{V}}{\dot{Q}} \cdot \rho \cdot c_p} + T_{entrada} [^{\circ}\text{C}] \quad (25)$$

Em que:

$$\frac{\dot{V}}{\dot{Q}} = 0,054 [\text{l/s} \cdot \text{kW}]$$

Com todas as variáveis definidas, resolveu-se a equação, concluindo que a temperatura de saída teria de ser 33,97 °C para as condições propostas. Sendo assim, retornou-se à equação inicial. A potência de refrigeração necessária será dependente do calor libertado no evaporador. Esta já foi calculada e tem um valor máximo de 1640 kW. Assim, resolveu-se a equação de modo a encontrar o caudal mássico necessário, obtendo um resultado de 85,85 kg/s ou seja 86,22 l/s. Este será o caudal em circulação na rede das torres de arrefecimento.

### 8.3. Seleção de equipamento compatível em catálogo

Procedeu-se então à procura de um modelo de torre de arrefecimento de circuito fechado com fluxo cruzado em catálogos de fabricantes. Escolheu-se o modelo de um catálogo da *Feiyu Cooling*, a FYBN-300. Esta torre tem uma capacidade de refrigeração de 1746 kW (cerca de 496,5 toneladas de refrigeração) e apresenta uma potência de operação de 18,5 kW. Mais algumas características das mesmas poderão ser consultadas em [21].

### 8.4. Requisitos de instalação

Para garantir que a torre de arrefecimento poderia ser uma opção a utilizar no clima do local escolhido, foi necessário verificar que a temperatura do bulbo húmido nunca seria superior à temperatura de saída (temperatura fria) da torre de arrefecimento. Para tal, recolheram-se temperaturas e humidades médias referentes a Aveiro em [22] e utilizou-se a equação (26), presente abaixo, para calcular as temperaturas do bulbo húmido ao longo do ano, resultados esses presentes na **Tabela**.

$$T_w [^{\circ}] = T \cdot \arctan \left( 0.151977(\text{RH}\% + 8.313659)^{\frac{1}{2}} \right) + \arctan(T + \text{RH}\%) - \arctan(\text{RH}\% - 1.676331) + 0.00391838(\text{RH}\%)^{\frac{3}{2}} \cdot \arctan(0.023101\text{RH}\%) - 4.686035 \quad (26)$$

**Tabela 9:** Temperatura do bulbo húmido ao longo do ano em Aveiro, com a temperatura mínima e máxima evidenciadas a verde e vermelho, respetivamente

	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$T_{wmin}(^{\circ}\text{C})$	4,94	4,77	6,12	7,82	9,88	12,16	13,16	13,51	12,74	11,46	7,74	5,72
$T_w(^{\circ}\text{C})$	7,93	8,02	9,60	11,42	13,53	16,06	17,14	17,56	16,65	14,70	10,51	8,51
$T_{wmax}(^{\circ}\text{C})$	11,50	12,03	13,65	15,39	17,66	20,52	21,95	22,54	21,41	18,52	13,86	12,06

Como podemos confirmar, a temperatura do bulbo húmido nunca ultrapassa a temperatura de saída das torres de arrefecimento. Logo, é viável a utilização da torre de arrefecimento em Aveiro.

## 9. Equipamento de circulação

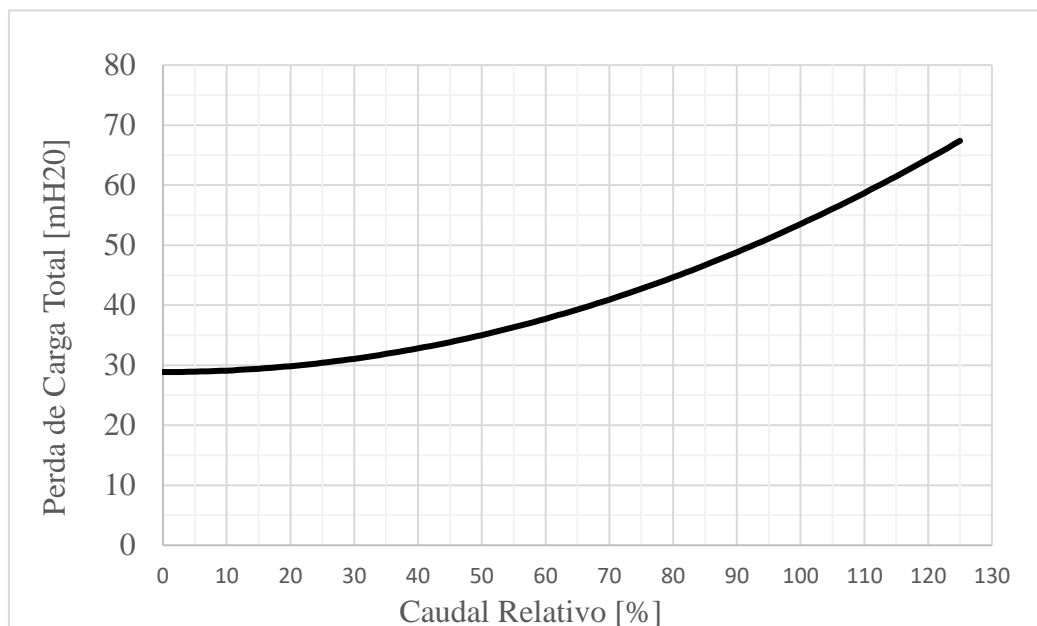
### 9.1. Descrição do equipamento

No que toca à escolha de bombas, foi primeiro feita uma análise das perdas de carga nos vários ramos do sistema para saber qual a altura manométrica necessária fornecer à água com o respetivo caudal do ramo. Além disso, e como foi referido anteriormente, a escolha do equipamento foi feita com base na arquitetura de bombas escolhida, uma bomba por máquina cliente e redundância de bombas onde a paragem de uma bomba provocaria a paragem de todo o sistema. É de referir que as bombas redundantes operam em simultâneo.

Para além disso, era importante escolher bombas de velocidade variável, mesmo tendo custos de equipamento maiores, uma vez que há a facilidade de controlar a altura manométrica para o mesmo caudal e assim garantir pressões iguais em ramos paralelos.

### 9.2. Dimensionamento hidráulico

Com base nos cálculos já apresentados anteriormente no **6.5. Dimensionamento hidráulico (tubos)**, já foi possível determinar os comprimentos, diâmetros reais dos tubos e consequentemente a sua velocidade real. Em seguida, procedeu-se ao cálculo das perdas de carga. Para isso, foram utilizadas tabelas de cálculo de perdas locais e em linha no Excel. Essas tabelas foram elaboradas com base no caudal completo esperado (caudal = 100%). O cálculo das perdas foi repetido para diferentes variações entre 1% e 125% do caudal, de modo a obter uma curva que representa as perdas em relação ao caudal. Em suma, a curva representa a variação das perdas de carga relativa ao caudal. O caudal representado a seguir é relativo, portanto os valores representam percentuais do mencionado caudal completo esperado. Na **Figura 9: Curva do Sistema**, é possível ver a representação gráfica da curva do sistema.



**Figura 9: Curva do Sistema**

Para o cálculo de todas as perdas de carga recorreu-se ao livro *Thermal Energy systems Design and Analysis by Steven Penoncello*. [10]

Para o cálculo de perdas de carga em linha, foi necessário obter o número de Reynolds (equação 4.13 do livro) e verificar o tipo de regime em causa ( $Re > 2300$  sendo o escoamento turbulento), depois calcular o fator de fricção (em regime turbulento) pela correlação de Churchill (tabela 4.2) e prosseguir para o cálculo das perdas de carga (por unidade de comprimento) através da equação (4.10). Desse modo, e tendo o comprimento dos tubos, calcula-se a perda de carga em linha em cada tubo, para se obter a perda de carga em linha no ramo de análise.

Já para o cálculo das perdas localizadas recorreu-se ao *2K Hooper Method* (equação 4.17) para cada acessório, os valores para o método são fundamentados com a tabela 4.8 do livro, finalmente faz-se o somatório de acordo com a equação 4.15 para obter o valor das perdas localizadas nos acessórios que constam dessa mesma tabela. No que toca a redutores e expansores foi utilizada a tabela 4.10 para se encontrar o valor de K. No que toca aos T's, para os convergentes foi usada a equação 4.21 recorrendo à tabela 4.12 para os coeficientes e para os divergentes foi usada a equação 4.24 recorrendo às tabelas 4.14 e 4.15.

### **9.3. Seleção de equipamento compatível em catálogo**

Com base nas curvas de perda de carga em cada ramo procedeu-se então à escolha das bombas.

O fornecedor escolhido foi a empresa *Grunfos* que apresenta uma vasta gama de opções e bombas de relativamente grandes dimensões, uma vez que temos caudais tão altos como 86 l/s.

A seleção foi feita com base no caudal de operação com a carga térmica máxima (em litros por segundo), ou seja, com o caudal das bombas redundantes a funcionar em simultâneo, e na altura manométrica (em metros) necessária para vencer as perdas de carga nessas condições. Esta seleção foi feita com o auxiliar de escolha de bombas, presente em [23].

No Anexo K: Curvas das bombas escolhidas com o auxílio do selecionador de bombas da fornecedora Grunfos encontram-se as curvas das bombas.

## 10. Monitorização e controlo

Com o intuito de determinar o diâmetro máximo para cada válvula, é necessário calcular a velocidade mínima admissível para que esta consiga operar de acordo com os seus parâmetros de funcionamento. Através da equação 4.20 do livro *Thermal Energy Systems Design and Analysis* by Steven Penoncello [9][10], apresentada a seguir.

$$v = \frac{C}{\sqrt{\rho}} \quad (27)$$

Sendo C um valor designado para cada tipo de válvula retirado da tabela 4.11 e  $\rho$  a massa volúmica ( $\text{kg/m}^3$ ). Os valores obtidos para as válvulas borboleta e globo são 1,329 m/s e 1,519 m/s, respetivamente. Assim sendo, a velocidade terá de ser igual ou superior a 1,519 m/s.

### 10.1. Descrição e justificação do equipamento a instalar

Para dimensionar a válvula é necessário definir alguns parâmetros, tais como: tipo de fluido: água; pressão de operação: 1 a 6 bar, para não provocar fugas ou colapso destes componentes mecânicos; temperatura de trabalho: 5 a 35 °C, para escolher os materiais do corpo, sistema de fecho e de vedação; caudal: 1 a 87 L/s, ou seja, 3,6 a 313,2 m<sup>3</sup>/h; velocidade da água: superior a 1,5 m/s; diâmetro nominal: 1'' a 10'', para haver um funcionamento estável dos circuitos e não danificar as válvulas.

Conforme os pressupostos anteriormente referidos, reconhece-se que é exequível equipar os circuitos com válvulas globo e borboleta. Sendo o primeiro tipo responsável pela regulação e direção do fluxo, não permitindo o seu retorno (2 vias) ou limitando o seu percurso por bloqueio de uma das 3 vias. Já o segundo é encarregue de bloquear e dirigir a água para uma das ramificações onde se encontram os equipamentos que estão duplicados e em paralelo, como bombas, torres de arrefecimentos e *chillers* que poderão estar em manutenção ou sem operar, utilizando-se válvulas de 3 vias.

Com a montagem de atuadores elétricos, possibilita operar 24 horas por dia mais eficiente e eficazmente perante os pneumáticos ou hidráulicos, devido às seguintes vantagens: alta velocidade e força; flexibilidade e fácil programação das posições; alta precisão e repetibilidade. [24]

Selecionou-se dois tipos de atuadores elétricos: de modo *on/off* e moduladores a fim de executar a tarefa de abrir ou fechar a válvula borboleta quando receberem um sinal elétrico e de abrir a válvula em qualquer posição entre 0 e 100% aberta/fechada, respetivamente. [25][26]

Ainda será montado nos tubos dos circuitos, sensores ativos para verificar as variações de temperatura à entrada e saída das máquinas e dos *chillers*; e de pressão para acompanhar as alterações de pressão no circuito das torres de arrefecimento. Os valores que os sensores e atuadores fornecem sobre o caudal, temperatura e pressão serão enviados em tempo real para a sala de monitorização, como também serão enviados sinais elétricos aos atuadores caso seja necessário alterá-los.



## 10.2. Seleção de equipamento compatível em catálogo

A empresa que fornece os atuadores elétricos, sensores de temperatura e de pressão e as válvulas globo e borboleta é a *Belimo*. Já as válvulas de ângulo do tipo globo são da *Merx Trade B. V.*

O Anexo G, apresenta as características de funcionamento das válvulas de acordo com os parâmetros referidos anteriormente.

Em relação aos atuadores elétricos, foram escolhidos dois adequados à função que desempenham e à válvula em que são integrados, conforme o fornecedor propõe:

- BAC permitem a abertura e fecho das válvulas borboleta;
- EV24A-MP-TPC permitem a regulação do caudal para as válvulas globo.

No que se refere aos sensores ativos, foram selecionados os seguintes:

- 22WP-115 para fazer medições de pressão entre 0 e 6 bar;
- 22CT-12H para medir temperaturas entre -50 e 180 °C.

# 11. Equipamento a instalar para energias renováveis

## 11.1. Seleção de equipamento de energias renováveis compatível em catálogo

Foi feita uma análise inicial para decidir o tipo de energia renovável a utilizar. Como no nosso projeto não temos forma de aproveitar calor gerado, então opções como a biomassa e solar térmico deixam de ser viáveis. Em relação a energia eólica, esta também não é viável uma vez que a nossa fábrica se encontra numa zona industrial onde a colocação é também impossibilitada, acabando por sobrar o solar fotovoltaico.

A escolha do equipamento a instalar teve por base o preço por Watt instalado e a eficiência, visto que são parâmetros que influenciam todo o projeto e garantem que este seja benéfico a longo prazo. Assim, o painel escolhido, da empresa *Sunpower*, é o mono-Si - SPR-320E-WHT com um preço por unidade com estrutura incluída de 640 €, apresenta uma eficiência de 19,6%, uma potência nominal de 320 W e uma área 1,63m<sup>2</sup> estes dados foram retirados do *RETScreen*.

No que toca à escolha do número de painéis fotovoltaicos, de modo a respeitar a área disponível no telhado (considerada a cerca de 60% do total do telhado) da instalação consideraram-se 2850 unidades, que representa uma potência total elétrica instalada de 912 kW e uma área total de 4650m<sup>2</sup>.

De modo a converter a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA), é necessário fazer a escolha dos inversores. Para isso, recorreu-se à empresa *Solis*. Para a escolha de inversores, optou-se pelo modelo *Solis-215K-EHV-5G*, um inversor com 98% de eficiência e potência de 215kW. De notar que são necessárias 5 unidades para cobrir a potência total instalada pelos painéis, cada uma com o custo de 20 000 €.

### 11.2. Requisitos de instalação

Para viabilizar o processo de instalação da solução em causa, um estudo detalhado e completo em relação ao peso exercido na estrutura deverá ser realizado. Além disso, é importante certificar-se da correta instalação dos painéis no respetivo suporte e verificar a ficha de instalação do inversor para assegurar o correto emparelhamento entre ambos os componentes.



*Figura 10: Pannel fotovoltaico SPR-320E-WHT SunPower e inversor Solis-215K-EHV-5G.*

### 11.3. Análise da fração de energia renovável

Através do *software RETScreen 4* foi possível obter os valores relativos à radiação solar e aos dados climáticos na zona em estudo para uma inclinação dos painéis de 40° e azimuth 0°. Esses dados encontram-se nos anexos L e M. A análise permitiu concluir que a energia gerada é de 1480 MWh por ano, sendo o objetivo aproveitar para autoconsumo esta eletricidade quando possível, visto que é necessário considerar a hipótese de que podem existir momentos em que a geração instantânea de energia dos painéis seja superior ao consumo instantâneo da rede térmica.

Em suma, a energia renovável representa em média 60% das necessidades energéticas do projeto, embora em alguns períodos do ano essa percentagem possa oscilar de 0% a mais de 100%, dependendo do mês e hora do dia em questão. Assim, surge a necessidade de vender energia à rede, uma vez que se optou por não ter baterias.

## 12. Análise económica da solução proposta

### 12.1. Definição de estudo económico

Foi feito um estudo económico para o projeto de modo a perceber quais os custos totais ao longo do tempo de vida útil do mesmo, utilizando como base o tempo de vida útil dos *chillers* escolhidos.

### 12.2. Pressupostos de análise

Foi feito um estudo económico para o projeto de modo a perceber quais os custos totais ao longo do tempo. Assumiu-se que o projeto teria uma vida útil de 20 anos (devido ao tempo de vida do *chiller*), considerando-se para esse período uma inflação média de 3%. Estimou-se um custo

médio de 220€/MWh e que existiria um gasto de 0,5% anual em todas as máquinas devido à sua manutenção. Adicionalmente será necessário ter seguro para os maiores equipamentos, *chillers* e torres de arrefecimento, de 3% do custo dos mesmos por ano. Ainda mais, estimou-se uma taxa de juro total de 5% e empréstimos a 7 anos, sendo o financiamento com 20% de capital próprio.

Com base nestes pressupostos, foi feita uma análise de sensibilidade para perceber quais seriam as alterações às variáveis do projeto que maior impacto teriam nos custos totais, e como mostram os mapas de fluxo financeiro e os gráficos, a redução dos custos energéticos foi identificada como a principal prioridade na redução de custos.

Além disso, devido às circunstâncias macroeconómicas atuais, é também de salientar a incerteza associada à estimativa dos custos de energia, e como tal, damos prioridade, mesmo para custos totais projetados semelhantes, fazer escolhas tais que reduzam a fração dos gastos com energia. O maior exemplo disso foi a escolha do *chiller* à base do COP mais alto do catálogo do fornecedor, uma vez que os gastos energéticos do *chiller* representam a maior fatia do consumo.

### 12.3 Custos de construção do projeto

Foram calculados os custos de aquisição dos materiais para o projeto tendo em conta o equipamento para a rede térmica e para os painéis fotovoltaicos, cujos resultados estão representados nas tabelas Tabela 10 e 11.

**Tabela 10:** Custos de equipamento para a instalação fotovoltaica.

	Custos totais
	(mil €)
Painéis	1824
Inversores	100
instalação elétrica	20
Total	1944

**Tabela 11:** Custos de equipamento para a instalação térmica.

	Custos Totais
	Custo (mil €)
Válvulas	215
Tubos	185
Bombas	38
Chillers	381
Torres	150
Tanques	10
Desgasificadores	20
Instalação elétrica	20
Isolamento	9
Total	1028

Sendo que ao todo, o custo construção do projeto fica por 2,972 milhões de euros.

## 12.4 Financiamento

O financiamento foi dividido em dois devido a tentar que se reduza o spread tendo em conta uma possível perceção de risco menor por parte do banco numa determinada parte do projeto.

Para o empréstimo da parte da rede térmica Anexo O: Empréstimo da rede térmica O o montante inicial de capital próprio será 20% de 1 028 000 euros, ou seja 205 mil e 600 euros.

Para o empréstimo da parte dos painéis fotovoltaicos Anexo N: Empréstimos dos painéis o montante inicial de capital próprio será 20% de 1 944 000 euros, ou seja 388 mil e 800 euros.

Com um total de 594 mil e 400 euros de capital próprio necessário para o arranque do projeto.

## 12.5 Custos energéticos

Com a potência média necessária de 281,64kW para a instalação térmica, o consumo resultante por ano é de 2467 MWh, fazendo um total de 543 mil euros por ano (no primeiro ano sem considerar ainda a inflação).

Com os painéis fotovoltaicos a gerarem cerca de 1480 MWh por ano, numa análise simplificada sem considerar potência de pico e venda à rede vs autoconsumo da energia gerada, representa assim uma poupança estimada de cerca de 326 mil euros por ano.

Assim sendo o custo energético total esperado por ano, numa análise simplificada, é de 217 mil euros por ano, como mostra a tabela X Os custos totais energéticos ao longo do tempo de vida útil do projeto encontram-se na tabela X em anexo

**Tabela 12:** *Resumo da análise total da energia referente aos painéis fotovoltaicos*

Energia (Análise total)	Energia por Ano	Valor
	[MWh/ano]	(mil €)
Rede térmica	2467	543
Painéis Fotovoltaicos	1480	326
Resultante (simplificada)	987	217

## 12.6. Mapa de fluxos financeiros ao longo da vida do projeto

O custo de construção do sistema térmico situa-se em 1,028 milhões de euros. Ao longo da vida útil do projeto, e contando com inflação, é estimado que o custo total seja de um 2,14 milhões de euros, como mostra a tabela no anexoX.

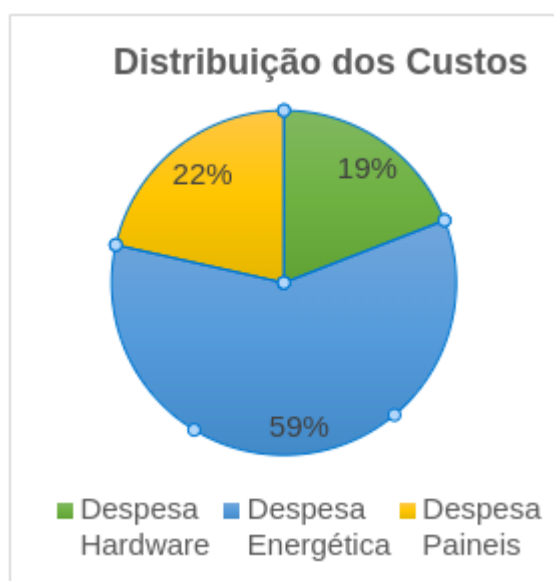
O custo de aquisição dos painéis fotovoltaicos é de 1,944 milhões de euros. Ao longo da sua vida útil projetada, e assim como o sistema térmico também tendo em conta a inflação, estima-se que o custo total seja de 2,56 milhões de euros como mostra a tabela no anexoX

Através do projeto de energias renováveis é possível concluir no âmbito do fluxo de caixa anual em relação ao financiamento em causa que o retorno do capital próprio acontece ao 4º ano de projeto como ilustrado na Figura 11: Gráfico circular da distribuição dos custos.

*Tabela 13 - Mapa de fluxo financeiro total tendo em conta uma análise grosseira do desconto da energia com os painéis*

Ano	Capex (mil €)	Ano	Despesa Hardware (mil €)	Despesa Energética (mil €)	Despesa Painéis (mil €)	Despesa Anual Total (mil €)	Despesas Acumuladas (mil €)
0	594,4	0					594
1	-	1	162	224	272	658	1252
2	-	2	162	231	273	666	1918
3	-	3	163	238	273	674	2592
4	-	4	164	245	273	682	3274
5	-	5	164	252	285	702	3976
6	-	6	165	260	274	699	4675
7	-	7	166	267	275	708	5383
8	-	8	27	275	14	316	5699
9	-	9	27	284	14	326	6024
10	-	10	368	292	28	689	6713
11	-	11	29	301	15	345	7059
12	-	12	30	310	16	356	7414
13	-	13	31	319	16	366	7781
14	-	14	32	329	17	377	8158
15	-	15	64	339	33	436	8594
16	-	16	34	349	18	400	8994
17	-	17	35	359	18	412	9407
18	-	18	36	370	19	425	9832
19	-	19	37	381	19	438	10269
20	-	20	38	393	20	451	10720
Total		Total	1934	6017	2174		

Custos totais do projeto, em vinte anos, é de 10,72 milhões de euros.



*Figura 11: Gráfico circular da distribuição dos custos*

## 13. Propostas de melhoria e análise crítica

Neste relatório foram apresentados vários cálculos, os quais são simplificados, nomeadamente nas perdas de carga em que se consideraram como constantes as perdas de pressão na passagem pelos equipamentos principais (chillers, torres de arrefecimento e máquinas cliente). No entanto consideramos que essas simplificações não afetam de forma muito significativa a arquitetura do sistema.

Alguns exemplos específicos de cálculos que podem ser melhorados são: COP real do chiller (em que será necessário consultar com o fabricante e averiguar o COP real em função do diagrama de carga real e das condições da instalação), melhor estimativa do custo energético médio ao longo do projeto, melhor análise da energia gerada pelos painéis solares (análise de autoconsumo e venda à rede nas condições reais e não simplificadas).

Além disso, foram detetados fatores limitantes no que toca às ferramentas de cálculo, nomeadamente na utilização do Retscreen, em que, por este ter uma base de dados desatualizada no que toca aos painéis fotovoltaicos (sendo que os painéis escolhidos tem eficiência de 19,6% e no mercado existem atualmente painéis com eficiência superior a 21%), essa análise foi feita com esses mesmos valores desatualizados mas mesmo assim suficientemente próximos da atualidade para considerarmos a análise válida.

É de referir também que toda esta análise foi feita num contexto académico sendo que nenhum dos membros da equipa tem experiência prática no projeto de sistemas térmicos, ou seja, podem existir escolhas de arquitetura e implementação de sistemas que não funcionem na prática. No entanto, consideramos que definimos corretamente os pressupostos físicos e económicos que servem de base para projetar este tipo de sistemas, apesar de não termos confiança na implementação prática da solução apresentada.

Concluindo, queremos agradecer aos docentes de PST pelo apoio e dizer que aprendemos bastante ao longo deste semestre.

## Referências:

- [1] Diário da República eletrónico. Decreto-Lei n.º 243/86, de 20 de agosto, consultado a 30 de Novembro de 2022, em <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/243-1986-219080>
- [2] Diário da República eletrónico. Decreto-Lei n.º 740/74, de 26 de dezembro, consultado a 30 de Novembro de 2022, em <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/740-1974-242189>
- [3] Diário da República eletrónico. Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, consultado a 30 de Novembro de 2022, em <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-regulamentar/23-1995-431873>
- [4] Diário da República eletrónico. Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, consultado a 30 de Novembro de 2022, em <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/162-2019-125692189>
- [5] Diário da República eletrónico. Regulamento n.º 266/2020, de 20 de março, consultado a 30 de Novembro de 2022, em <https://dre.pt/dre/detalhe/regulamento/266-2020-130469272>
- [6] American Society for Testing and Materials, *Designation A53/A53M – 20*, consultado a 29 de Novembro de 2022, em <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-hermilio-valdizan/tecnologia-de-materiales/astm-a53-normas/15711417>
- [7] Diário da República eletrónico. Portaria n.º 138-I/2021, de 1 de julho, consultado a 25 de Novembro de 2022, em <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/138-i-2021-166296492>
- [8] European Standards. *EN 14511:2022 + 14825:2022- Standards for Air conditioners all parts*, consultado 39 de Novembro de 2022, em <https://www.en-standard.eu/en-14511-2022-14825-2022-standards-for-air-conditioners-all-parts/>
- [9] Baltimore. *The Difference Between Open & Closed-Circuit Cooling Tower Systems*, consultado em 30 de Outubro de 2022, em <https://deltacooling.com/resources/news/the-difference-between-closed-and-open-circuit-cooling-tower-systems>
- [10] Penoncello, S. G. (2018). *Thermal Energy Systems: Design and Analysis*, Segunda Edição, CRC Press.
- [11] Engineering Department. (2010). *Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe* (Technical Paper No. 410). Crane Co.
- [12] Carrier. (2021, Junho). Catálogo da Carrier AquaEdge 30XW Water-Cooled Liquid Chiller. Consultado a 11 de Novembro de 2022, em [https://www.carrier.co.th/products/chiller/dl/30XW\\_catalog.pdf](https://www.carrier.co.th/products/chiller/dl/30XW_catalog.pdf)
- [13] Engineering Toolbox. *Specific Heat capacity water*. Consultado a 10 de Outubro de 2022 em [https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d\\_660.html](https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d_660.html)
- [14] Engineering Toolbox. *Water density specific Weight*. Consultado a 10 de Outubro de 2022 em [https://www.engineeringtoolbox.com/water-density-specific-weight-d\\_595.html](https://www.engineeringtoolbox.com/water-density-specific-weight-d_595.html)
- [15] Diário da República eletrónico. Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, consultado a 09/10, em <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-regulamentar/23-1995-431873>
- [16] Wheatland Tube. *Standard Pipe*, consultado a 25 de Novembro de 2022 em <https://www.wheatland.com/wp-content/uploads/2017/12/Standard-Pipe-Brochure-2.pdf>
- [17] Armacell. AF/Armaflex, consultado 17 de Dezembro de 2022, em <https://local.armacell.com/fileadmin/cms/portugal/downloads/Catalogue/af-armaflex.pdf>
- [18] Armacell. Dados Técnicos - AF/Armaflex, consultado 17 de Dezembro de 2022, em [https://local.armacell.com/fileadmin/cms/downloads/technical-information/pt/PT\\_TDS\\_AF\\_Armaflex.pdf](https://local.armacell.com/fileadmin/cms/downloads/technical-information/pt/PT_TDS_AF_Armaflex.pdf)
- [19] Ekin Global. Expansion tanks products catalogue, consultado 18 de Dezembro de 2022, em

<https://ekinendustriyel.com/Kataloglar/EXPANSION TANKS PRODUCT CATALOG UE.pdf>

- [20] Flamco B.V. Vacuum Ecomat, consultado a 19 de Dezembro de 2022, em <https://flamcogroup.com/ex-en/catalog/air-dirt-separation-and-dosing-solutions/degassers/vacumat-eco-degassing-and-top-up-automats/vacumat-eco/groups/g+c+p+a+view>
- [21] Saravel. (Fevereiro 2010). *Saravel cooling tower*, consultado a 8 de Outubro de 2022, em <http://saravel.com/catalog/SaravelCoolingTower.pdf>
- [22] Climate Data. Clima Aveiro. Consultado a 14 de Novembro de 2022, em <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/aveiro/aveiro-882435/>
- [23] Grundfos. Size Paramaters Grundfos. Consultado a 17 de Novembro de 2022 em <https://product-selection.grundfos.com/size-page?qcid=1703545337>
- [24] Automotion. “Por que os atuadores elétricos são melhores do que os hidráulicos?”. Consultado a 20 de Dezembro de 2022, em <https://blog.automotion.com.br/por-que-os-atuadores-eletricos-sao-melhores-do-que-os-hidraulicos/>
- [25] Actuated Valves Supplies. “What is a Modulating Electric Actuator?”. Consultado a 20 de Dezembro de 2022, em <https://actuatedvalvesupplies.com/en-gb/knowledge-base/what-is-a-modulating-electric-actuator/>
- [26] Aoxiang, “*The difference between ON-OFF type and modulating type electric valve actuator*”, consultado a 19 de Dezembro de 2021, em <https://www.aoxactuator.com/news-show-129596.html>

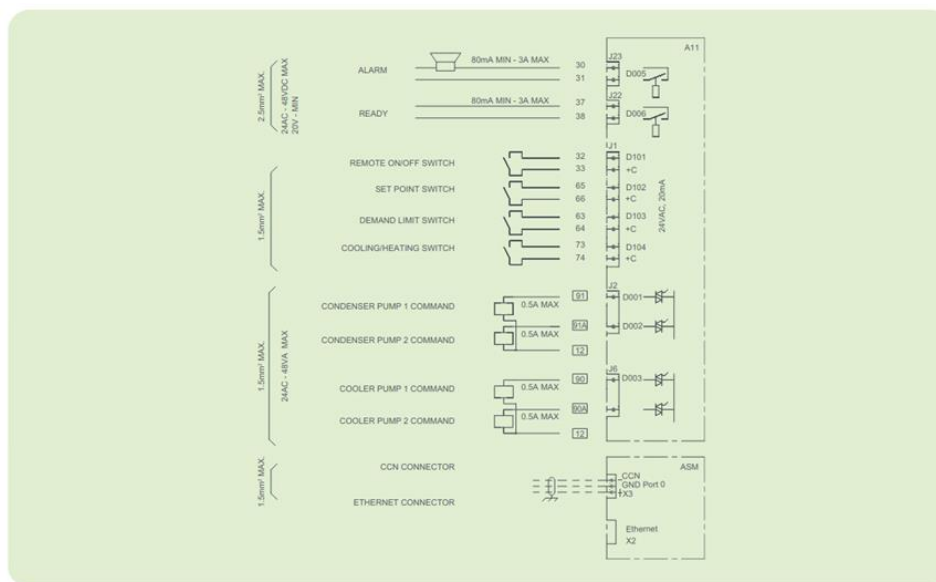


## Anexo A: Quadro Elétrico

*Tabela 14: Quadro elétrico da rede das máquinas.*

Máquina	Voltagem	Tensão (Máx) V	Potência Max por unidade (kW)	Potência Máx. Total (kW)	Fator potência	Corrente Máx. por unidade (A)	Corrente total (A)
Chillers	Trifásica	440	275	550	0,91	432	864
Bombas geral	Trifásica	415	6	12	0,75	30	60
Bomba M1	Trifásica	415	1	1	0,75	3,1	3,1
Bomba M2	Trifásica	415	2,4	2,4	0,75	6,4	6,4
Bomba M3	Trifásica	415	3	3	0,75	12,4	12,4
Bomba M4	Trifásica	415	3,3	3,3	0,75	8,2	8,2
Bomba M5	Trifásica	415	3,3	3,3	0,75	8,2	8,2

## Anexo B: Diagrama elétrico do *chiller* escolhido



*Figura 12: Diagrama elétrico do chiller escolhido*

## Anexo C: Diagrama elétrico das bombas escolhidas

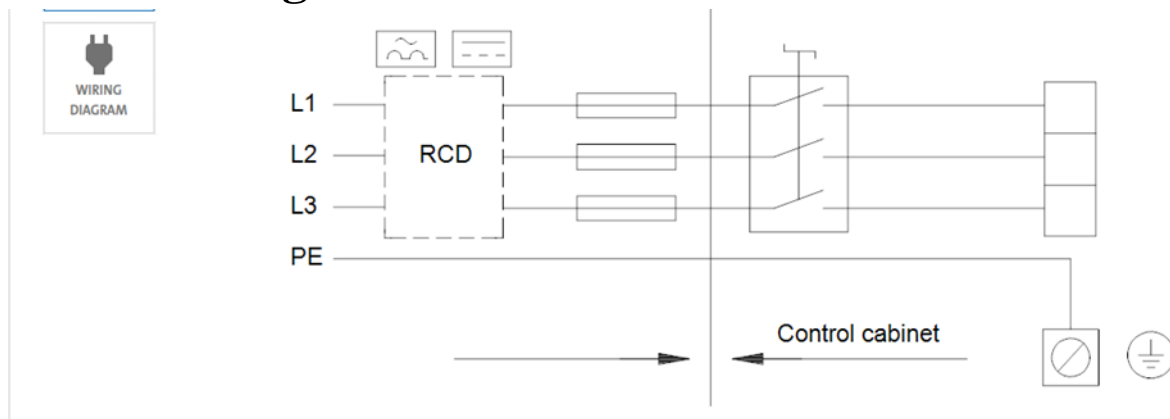


Figura 13: Diagrama elétrico das bombas escolhidas

## Anexo D: Especificações do *chiller* Aquaforce 30XW-P 1351P

### Performance data 30XW-P

Model			30XW-P																
			0312P	0352P	0452P	0532P	0552P	0612P	0652P	0702P	0802P	0852P	0912P	1002P	1052P	1152P	1251P	1351P	
Capacity			kW	303.5	366.3	448.5	536.1	571.8	640.1	675.8	729.7	785.0	852.3	897.5	974.0	1075.0	1147.0	1245.0	1340.0
			USRT	86	104	128	152	163	182	192	208	223	242	255	277	306	326	354	381
COP			kW/kW	5.65	5.65	5.73	6.00	6.02	6.00	6.12	6.06	5.99	5.90	6.00	5.99	5.99	5.98	6.28	6.34
Evaporator	Flow rate	L/s	13.1	15.8	19.3	23.1	24.6	27.5	29.1	31.4	33.8	36.7	38.6	41.9	46.2	49.3	53.5	57.6	
	Water Pressure drop	kPa	24.9	32.6	29.9	24.6	26.2	39.6	39.6	24.8	28.2	33.5	61.5	50.0	72.5	46.9	49.2	56.6	
	Water connection	DN	125	125	125	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
Condenser	Flow rate	L/s	16.3	19.6	24.3	28.7	30.7	34.6	36.4	39.2	42.1	45.8	47.9	52.4	58.1	62.0	66.9	71.9	
	Water Pressure drop	kPa	51.8	66.8	41.5	38.6	43.1	34.6	40.7	34.1	38.9	46.4	33.9	26.8	34.0	36.8	43.4	49.5	

Figura 14: Especificações da gama de chillers Aquaforce 30XW-P 1351P.

## Anexo E: Calor específico da água líquida entre os 0 e 60°C

Specific heat for liquid water at temperatures from 0 to 360 °C:

Temperature [°C]	Isochoric Specific Heat (C <sub>v</sub> )				Isobaric Specific Heat (C <sub>p</sub> )			
	[J/(mol K)]	[kJ/(kg K)]	[kWh/(kg K)]	[kcal/(kg K)] [Btu(IT)/lb <sub>m</sub> °F]	[J/(mol K)]	[kJ/(kg K)]	[kWh/(kg K)]	[kcal/(kg K)] [Btu(IT)/lb <sub>m</sub> °F]
0.01	75.981	4.2174	0.001172	1.0073	76.026	4.2199	0.001172	1.0079
10	75.505	4.1910	0.001164	1.0010	75.586	4.1955	0.001165	1.0021
20	74.893	4.1570	0.001155	0.9929	75.386	4.1844	0.001162	0.9994
25	74.548	4.1379	0.001149	0.9883	75.336	4.1816	0.001162	0.9988
30	74.181	4.1175	0.001144	0.9834	75.309	4.1801	0.001161	0.9984
40	73.392	4.0737	0.001132	0.9730	75.300	4.1796	0.001161	0.9983
50	72.540	4.0264	0.001118	0.9617	75.334	4.1815	0.001162	0.9987
60	71.644	3.9767	0.001105	0.9498	75.399	4.1851	0.001163	0.9996

Figura 15: Calor específico da água líquida a temperentre os 0 e os 360°C.

## Anexo F: Densidade, massa volúmica da água a temperaturas entre 0 e 60°C

Water density, specific weight and thermal expansion coefficient at temperatures given in degree Celcius:

Temperature [°C]	Density (0-100°C at 1 atm, >100 °C at saturation pressure)					Specific weight		Thermal expansion coefficient [·10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup> ]
	[g/cm <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[sl/ft <sup>3</sup> ]	[lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup> ]	[lb <sub>m</sub> /gal(US liq)]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[lbf/ft <sup>3</sup> ]	
0.1	0.9998495	999.85	1.9400	62.4186	8.3441	9.8052	62.419	-0.68
1	0.9999017	999.90	1.9401	62.4218	8.3446	9.8057	62.422	-0.50
4	0.9999749	999.97	1.9403	62.4264	8.3452	9.8064	62.426	0.003
10	0.9997000	999.70	1.9397	62.4094	8.3429	9.8037	62.409	0.88
15	0.9991026	999.10	1.9386	62.3719	8.3379	9.7978	62.372	1.51
20	0.9982067	998.21	1.9368	62.3160	8.3304	9.7891	62.316	2.07
25	0.9970470	997.05	1.9346	62.2436	8.3208	9.7777	62.244	2.57
30	0.9956488	995.65	1.9319	62.1563	8.3091	9.7640	62.156	3.03
35	0.9940326	994.03	1.9287	62.0554	8.2956	9.7481	62.055	3.45
40	0.9922152	992.22	1.9252	61.9420	8.2804	9.7303	61.942	3.84
45	0.99021	990.21	1.9213	61.8168	8.2637	9.7106	61.817	4.20
50	0.98804	988.04	1.9171	61.6813	8.2456	9.6894	61.681	4.54
55	0.98569	985.69	1.9126	61.5346	8.2260	9.6663	61.535	4.86
60	0.98320	983.20	1.9077	61.3792	8.2052	9.6419	61.379	5.16

Figura 16:Densidade, massa volúmica da água a temperaturas entre 0 e 60°C

## Anexo G: Características das válvulas, atuadores e sensores

Tipo de Válvula	Número	Designação	Pressão máxima (Bar)	Temperatura de trabalho (°C)	Diâmetro Nominal (polegadas)
Globo	1	H625R	6	-10 a 120	1
	2	MXT-264G4BFX025	10	-10 a 180	1,25
	3	H679R	6	-10 a 120	3
	4	H779R	6	-10 a 120	3
	5	H6100R	6	-10 a 120	4
	6	MXT-264G4BFX100	10	-10 a 180	4
	7	MXT-264G4BFX125	10	-10 a 180	5
	8	H7125N	16	-10 a 120	5
	9	H7150N	16	-10 a 120	6
	10	H6200W630-S7	16	5 a 120	8
	11	H6250W1000-S7	16	5 a 120	10
Borboleta		D7200WL	16	-20 a 120	8
		D7250WL	16	-20 a 120	10

**Figura 17:** Características de funcionamento das válvulas escolhidas.

Válvula/Função	Válvulas+Atuador	Diâmetro (pol)	Eur/Unid.	Unid.	Custo	Marca
<b>globo/retenção</b>	H625R	1	345,00	1	345,00	Belimo
	H679R	3	885,00	2	1770,00	
	H6100R	4	1354,00	2	2708,00	
	H6250W1000-S7	10	11463,98	2	22927,96	
globo/regulação	MXT-264G4BFX025+EV24A-TPC	1,25	959,00	1	959,00	Merxtrade
	MXT-264G4BFX100+EV24A-TPC (5)	4	1257,00	1	1257,00	
	MXT-264G4BFX125+EV24A-TPC	5	1469,00	1	1469,00	
	H6200W630-S7+EV24A-TPC	8	9646,22	2	19292,44	Belimo
	H6250W1000-S7+EV24A-TPC	10	12280,98	6	73685,88	
	H779R/EV24A-MP-TPC	3	1254,00	1	1254,00	Belimo
	H7125N/EV24A-MP-TPC	5	3720,00	1	3720,00	
	H7150N/EV24A-MP-TPC	6	4293,00	1	4293,00	
	H7200W630-S7/EV24A-TPC	8	11837,50	1	11837,50	
Borboleta/bloqueio	D7200WL/BAC	8	5887,00	1	5887,00	
	D7250WL/BAC	10	6448,00	9	58032,00	

**Figura 18:** Designação e preço das válvulas e atuadores selecionados.

Sensores	Medição	Eur/Unid	Unid.	Custo	Marca
22DT-12H	Temperatura	104	18	1872	Belimo
22WP-115	Pressão	177	6	1062	

**Figura 19:** Designação e preço dos sensores seleccionados.

## Anexo H: Excerto do catálogo de tubos vendidos pela Wheatland Tubes

Suitable for  
welding, threading  
and grooving

**Finish options:**  
Black and hot-dip  
galvanized

**Sizes:**  
Schedule 40,  
2-18 NPS

Produced to ASTM  
A53/ A53M, federal  
specification  
WW-P404 and  
ASME B36.10M

### ASTM A53, TYPE E, WEIGHTS AND DIMENSIONS

TRADE SIZE	OD	NOMINAL WALL THICKNESS	WEIGHT
	in.	in.	lbs./ft.
2	2.375	0.154	3.66
2½	2.875	0.203	5.80
3	3.500	0.216	7.58
4	4.500	0.237	10.80
5	5.563	0.258	14.63
6	6.625	0.280	18.99
8	8.625	0.322	28.58
10	10.750	0.365	40.52
12	12.750	0.375	49.61
14	14.000	0.375	54.62
16	16.000	0.375	62.64
18	18.000	0.375	70.65

**Figura 20:** Excerto do catálogo de tubos vendidos pela Wheatland Tube

## Anexo I: Tabela-resumo de custos em função da espessura do isolamento

*Tabela 15- Resumo dos custos em função da espessura do isolamento*

Espessura de isolamento	Custo total do isolamento	Calor transferido	Custo do calor transferido anual	Custo isolamento anual	Custo total anual
mm	€	W	€	€	€
0,00	0,00	2848,00	865,72	0,00	865,72
3,00	47,91	254,50	77,36	2,40	79,76
6,00	73,44	174,48	53,04	3,67	56,71
10,00	99,02	92,67	28,17	4,95	33,12
13,00	124,60	72,40	22,01	6,23	28,24
16,00	150,18	58,52	17,79	7,51	25,30
19,00	175,63	56,73	17,24	8,78	26,03
25,00	200,63	46,78	14,22	10,03	24,25
32,00	248,74	39,72	12,07	12,44	24,51
50,00	352,49	30,28	9,20	17,62	26,83

## Anexo J: Espessuras mínimas de isolamento referidas na legislação Portaria nº 138-I/2021, de 1 de julho

Tabela 16: Espessuras mínimas de isolamento de tubagens (mm).

Diâmetro	Fluido Interior Quente				Fluido Interior Frio			
	Temperatura do fluido (°C)				Temperatura do fluido (°C)			
	40 a 65	66 a 100	101 a 150	151 a 200	-20 a -10	-9 a 0	0,1 a 10	10<
$D \leq 35$	20	20	30	40	40	30	20	20
$35 < D \leq 60$	20	30	40	40	50	40	30	20
$60 < D \leq 90$	30	30	40	50	50	40	30	30
$90 < D \leq 140$	30	40	50	50	60	50	40	30
$D \geq 140$	30	40	50	60	60	50	40	30

## Anexo K: Curvas das bombas escolhidas com o auxílio do selecionador de bombas da fornecedora Grunfos

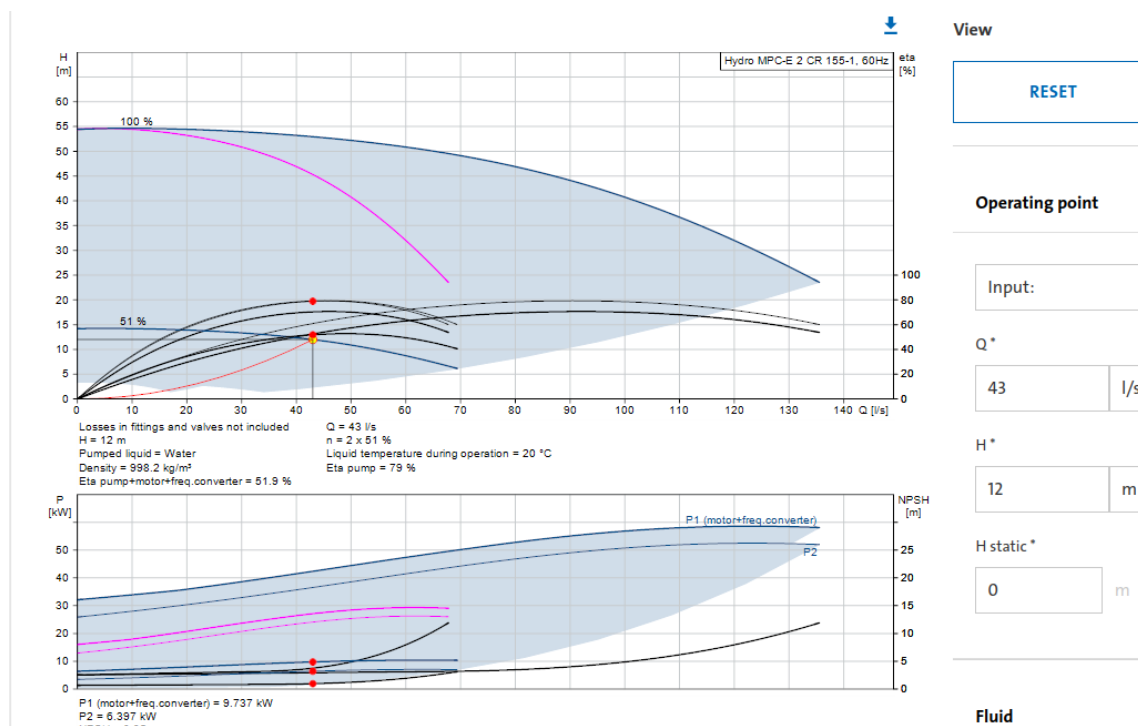
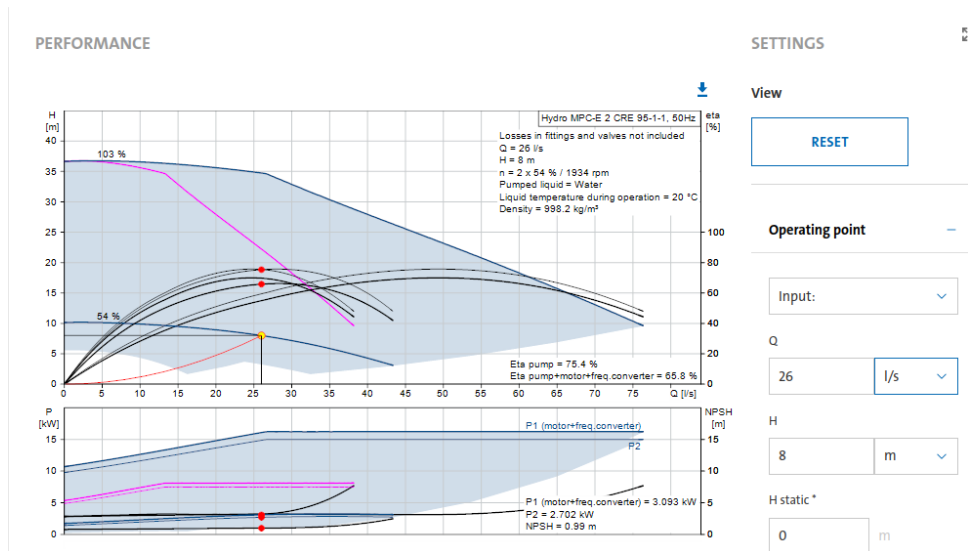
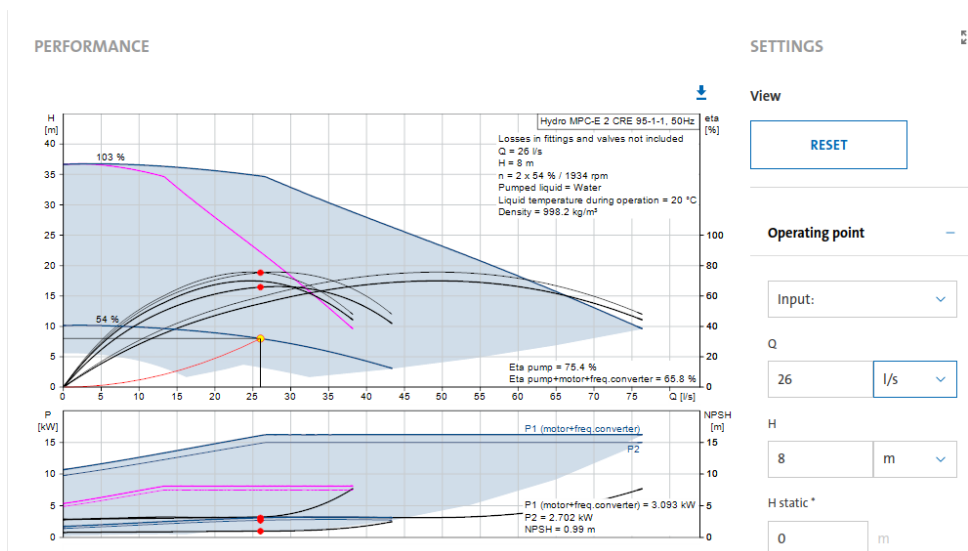


Figura 21: Curva das bombas principais rede torres (2 bombas iguais)

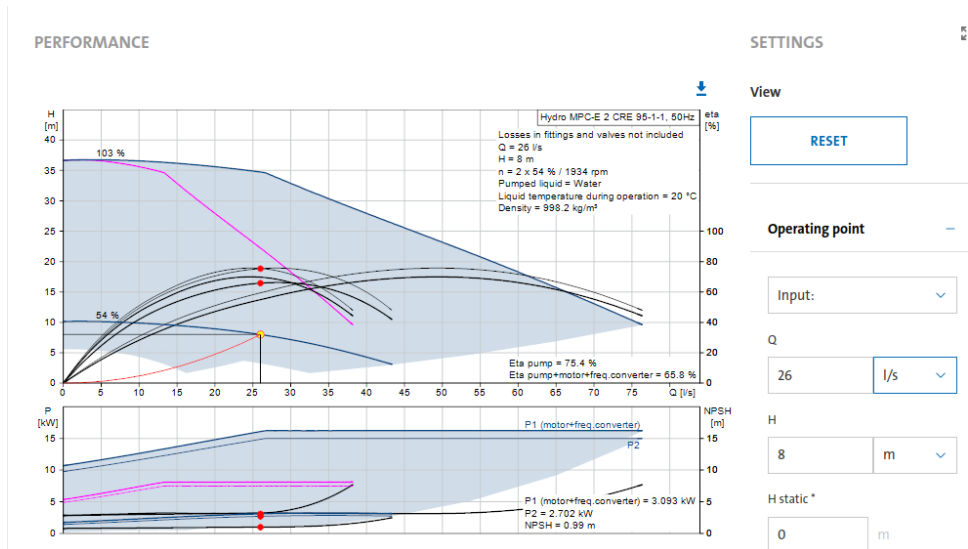


**Figura 22:** Curva da bomba principais rede máquinas (2 bombas iguais)

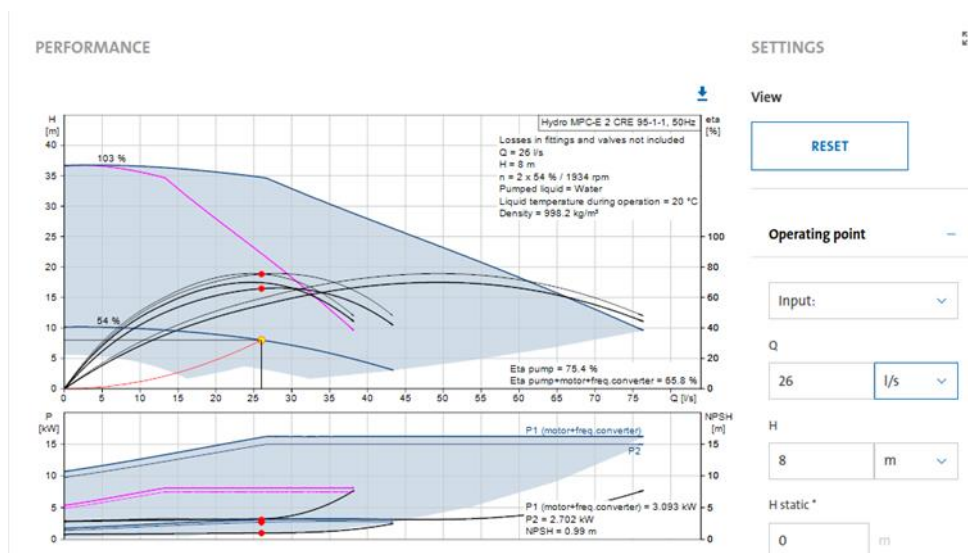


**Figura 23:** Curva da bomba máquina 1





**Figura 24:** Curva da bomba máquina 2



**Figura 25:** Curva da bomba máquina 3

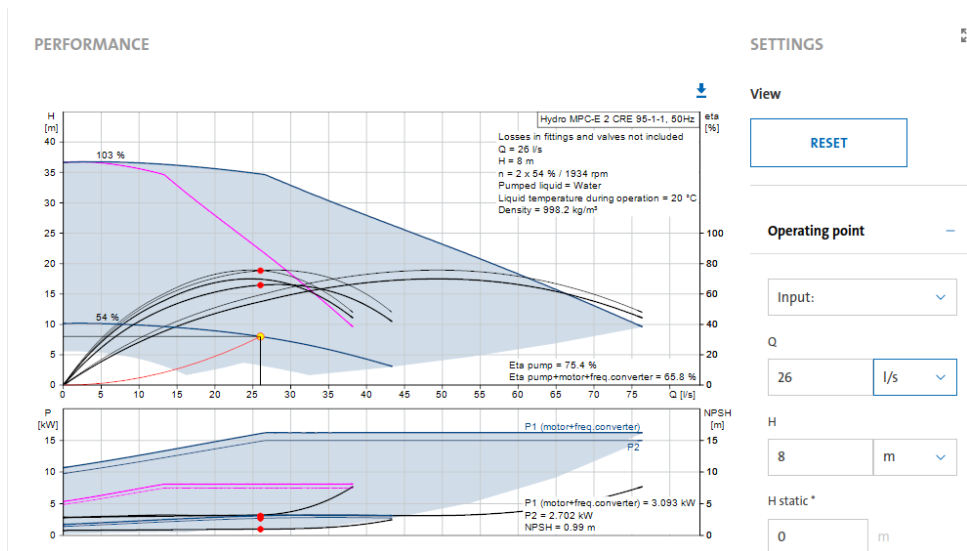


Figura 26: Curva da bomba máquina 4

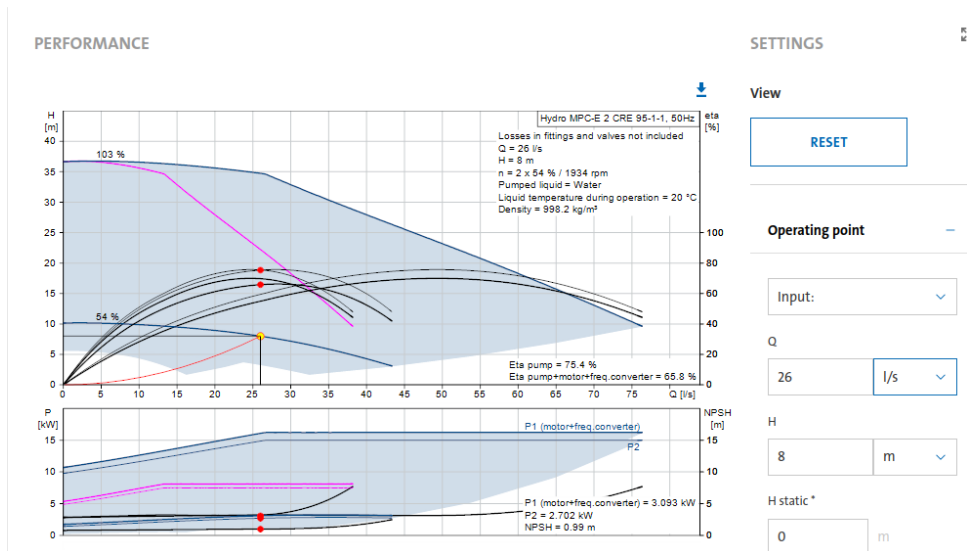


Figura 27: Curva da bomba máquina 5

## Anexo L: Eletricidade gerada exportada para a rede pelos fotovoltaicos anualmente

*Tabela 17: Eletricidade gerada exportada para a rede pelos fotovoltaicos anualmente*

Mês	Radiação solar diária - horizontal	Radiação solar diária - inclinada	Preço eletricidade	Eletricidade gerada
	kWh/m²/d	kWh/m²/d	€/MWh	MWh
Janeiro	1,82	3,06	230,0	83,33
Fevereiro	2,57	3,65	240,0	89,01
Março	3,93	4,77	300,0	126,90
Abril	5,21	5,43	230,0	138,98
Maio	6,22	5,78	220,0	151,72
Junho	6,86	6,06	210,0	151,91
Julho	6,93	6,26	210,0	160,71
Agosto	6,23	6,21	200,0	158,95
Setembro	4,74	5,47	190,0	136,56
Outubro	3,16	4,26	200,0	111,83
Novembro	2,12	3,48	200,0	90,23
Dezembro	1,64	2,94	200,0	79,68
Anual	4,30	4,79	218,73	1 479,83

# Anexo M: Dados climáticos relativos a Aveiro

	Localização dos dados climáticos	Localização do Projeto
Latitude	°N	41,2
Longitude	°E	-8,7
Elevação	m	77
Temperatura para projeto de aquecimento	°C	3,1
Temperatura para projeto de refrigeração	°C	28,1
Amplitude da Temperatura do Solo	°C	17,3

Mês	Temperatura do Ar °C	Humidade relativa %	Radiação solar diária - horizontal kWh/m²/d	Pressão Atmosférica kPa	Velocidade do Vento m/s	Temperatura do Solo °C	Graus-dia para aquecimento °C-d	Refrigeração graus-dias °C-d
Janeiro	9,6	79,1%	1,82	98,7	3,5	7,1	260	0
Fevereiro	10,3	77,6%	2,57	98,6	3,3	8,4	216	8
Março	12,2	74,8%	3,93	98,4	3,4	11,8	180	68
Abril	13,1	75,7%	5,21	98,1	3,5	14,1	147	93
Maio	15,2	77,0%	6,22	98,1	3,3	18,2	87	161
Junho	18,0	77,0%	6,86	98,3	3,0	22,8	0	240
Julho	19,2	78,4%	6,93	98,3	2,9	25,1	0	285
Agosto	19,4	77,9%	6,23	98,2	2,8	23,9	0	291
Setembro	18,2	79,0%	4,74	98,3	2,6	20,8	0	246
Outubro	15,7	80,8%	3,16	98,2	3,1	15,6	71	177
Novembro	12,6	81,0%	2,12	98,3	3,3	10,9	162	78
Dezembro	10,7	79,6%	1,64	98,5	3,5	8,3	226	22
Anual	14,5	78,2%	4,30	98,3	3,2	15,6	1 349	1 670
Medido a	m				10,0	0,0		

## Anexo N: Empréstimos dos painéis

Montante do empréstimo	1,539,200.00 €
Taxa de juros anual	5.00%
Período do empréstimo em anos	7
Data de início do empréstimo	1/2/2023
Pagamento mensal	21,754.91 €
Número de pagamentos	84
Taxa de Juros	288,212.68 €
Custo total do empréstimo	1,827,412.68 €

*Figura 28: Empréstimo dos painéis fotovoltaicos*

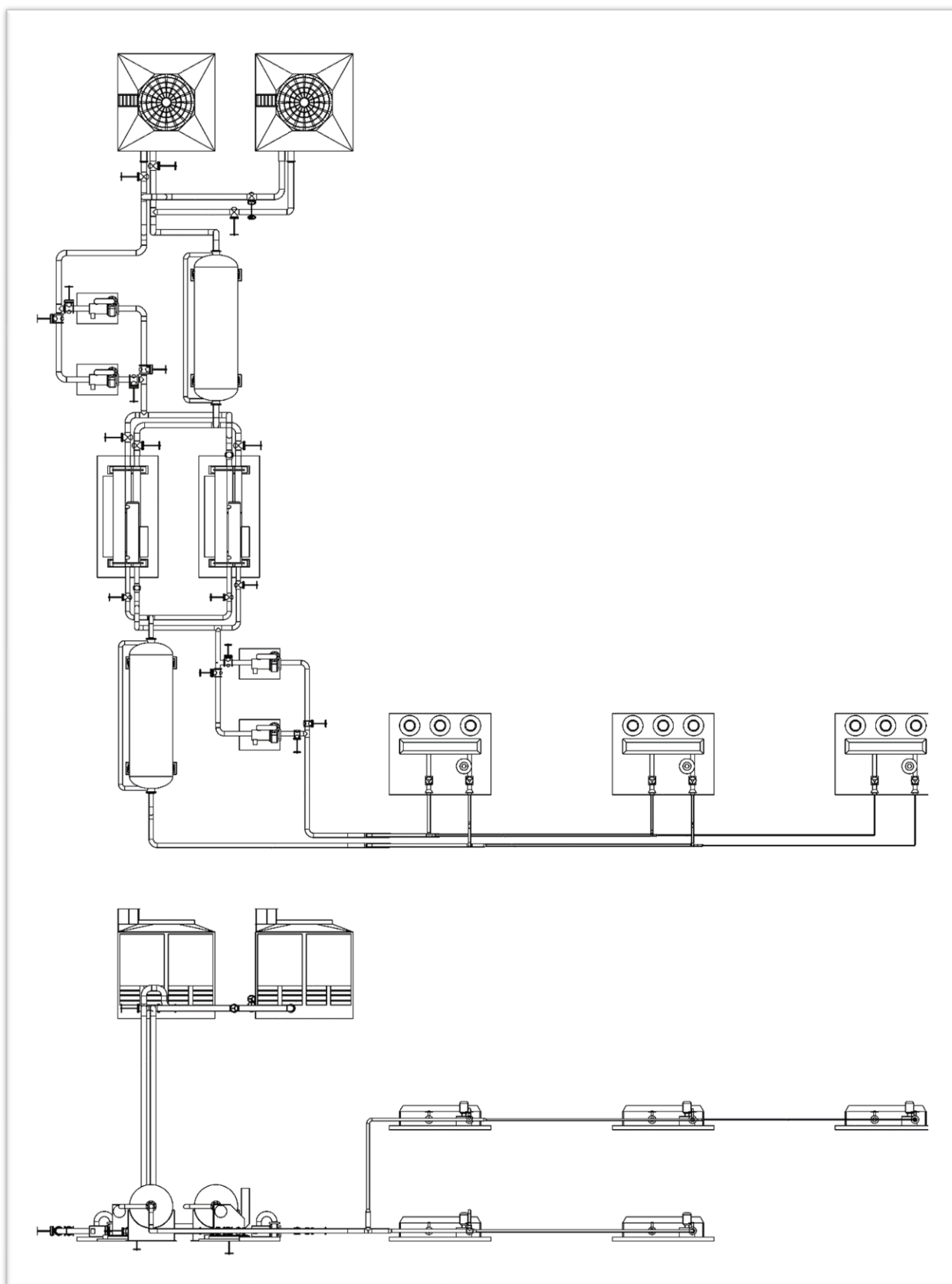
## Anexo O: Empréstimo da rede térmica

Montante do empréstimo	822,400.00 €
Taxa de juros anual	5.00%
Período do empréstimo em anos	7
Data de início do empréstimo	1/3/2023
Pagamento mensal	11,623.73 €
Número de pagamentos	84
Taxa de Juros	153,993.05 €
Custo total do empréstimo	976,393.05 €

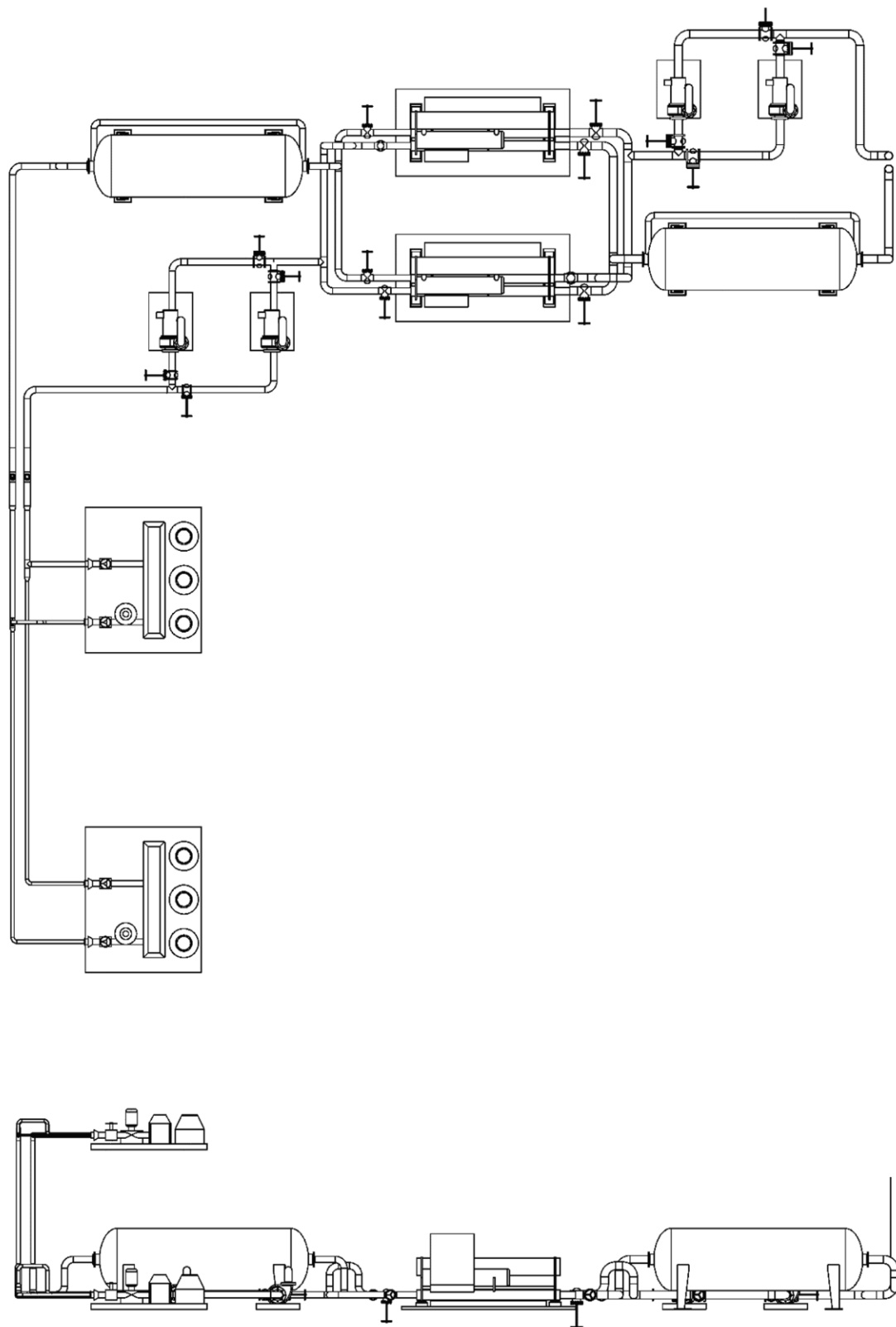
*Figura 29: Empréstimo da rede térmica*

# Anexo P: Layout e Componentes

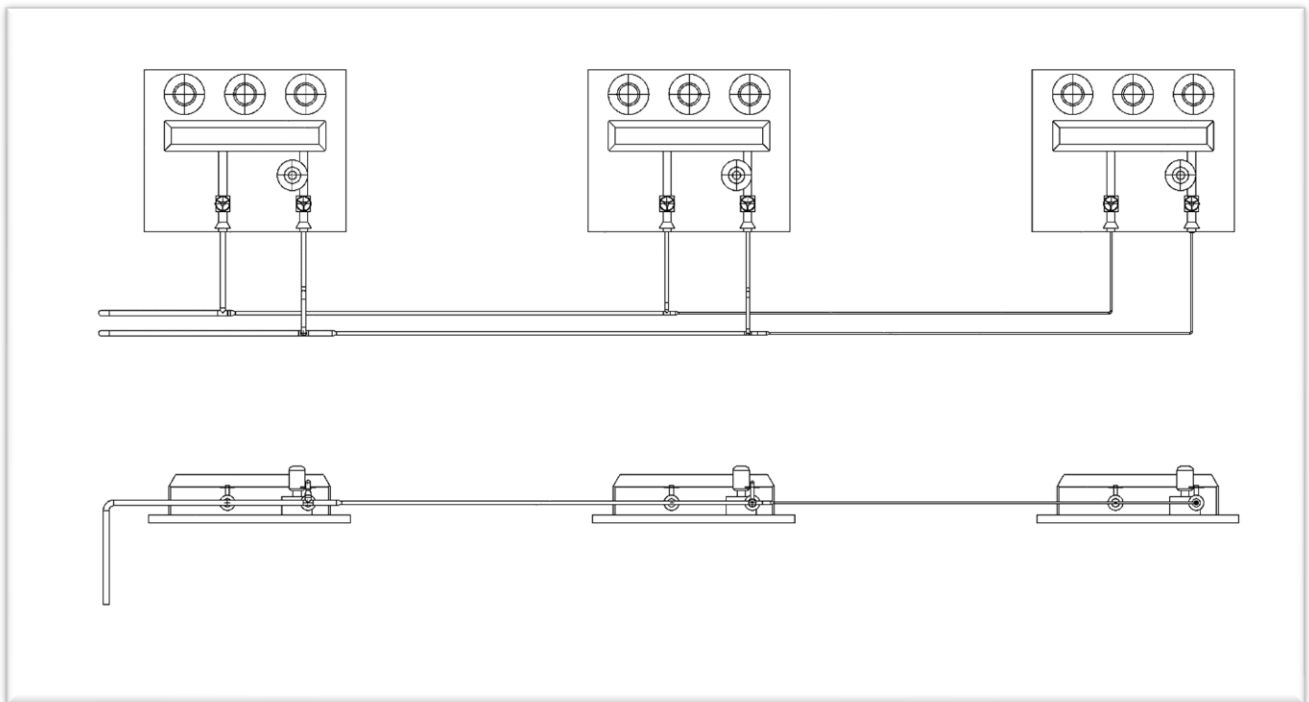
## 1 – Layout Geral de Máquinas



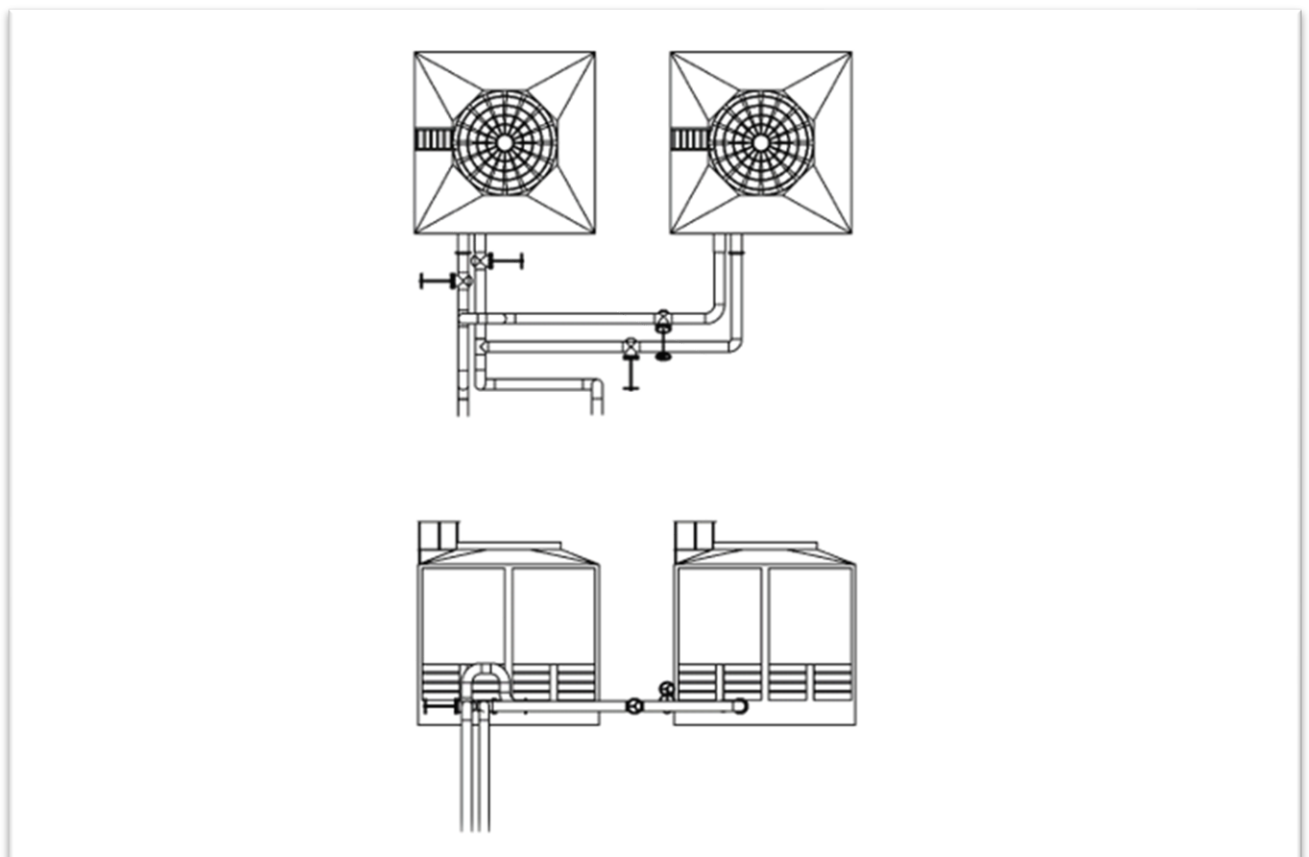
## 2 – Layout Primeiro Piso



### 3 – Layout Segundo Piso

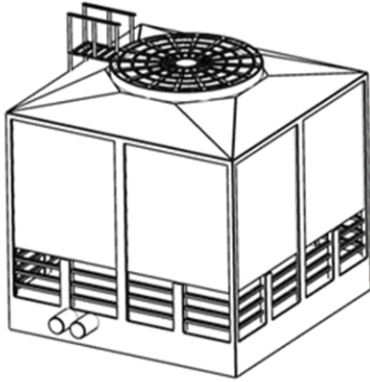


### 4 –Layout Telhado

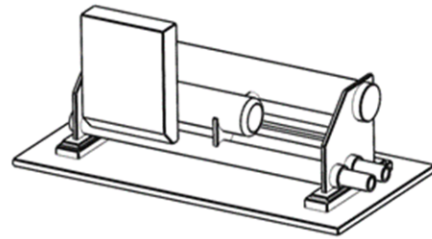




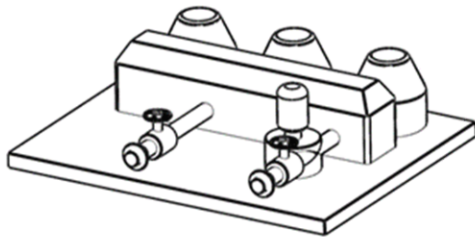
## 5 –Máquinas



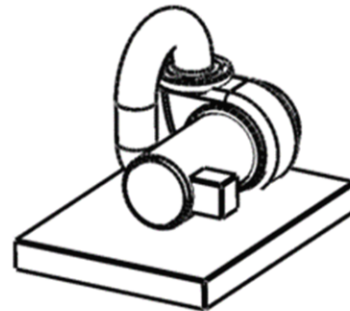
Torre  
Arrefecimento



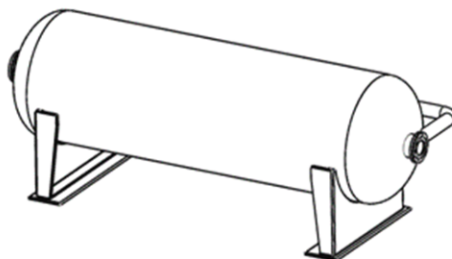
Chiller



Máquinas Cliente



Bombas

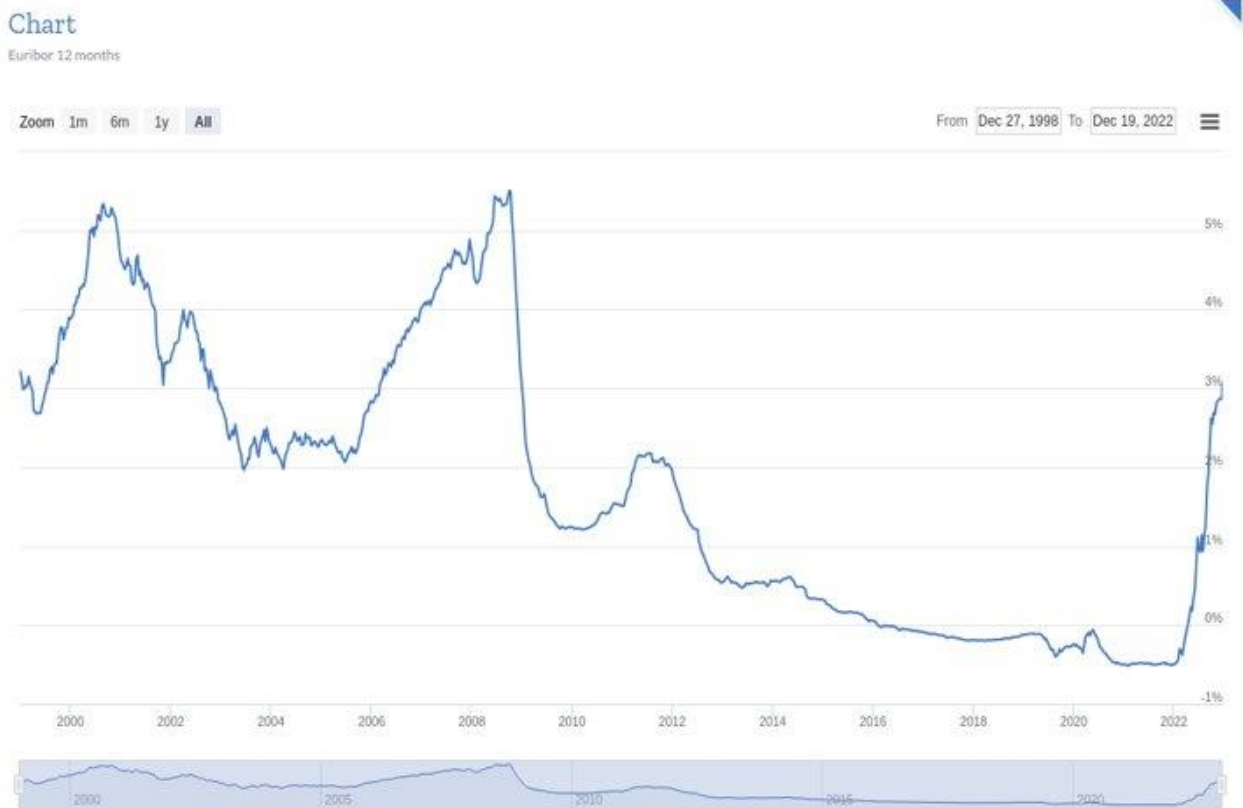


Tanque

## Anexo Q: Mapa de quantidades

Equipamento principais	Quantidade	Empresa	Designação
Válvula Borboleta 3v	10	Belimo	D7250WL/BAC (borboleta 3v)
Válvula Globo 3v	2	Belimo	H7125N/EV24A-MP-TPC (globo 3v)
Válvula Globo 3v	1	Belimo	H7150N/EV24A-MP-TPC (globo 3 v)
Válvula Globo 3v	1	Belimo	H7200W630-S7/EV24A-TPC (globo 3 v)
Válvula Globo 2v	8	Belimo	H6250W1000-S7/EV24A-TPC (globo 2v)
Válvula Retenção	2	Belimo	H6250W1000-S7 ( retenção)
Válvula Retenção	2	Belimo	H679R (retenção)
Válvula Retenção	1	Belimo	H625R (retenção)
Válvula Retenção	2	Belimo	H6100R (retenção)
Válvula Globo Ang	1	Merxtrade	MXT-264G4BFX125 (globo ang)
Válvula Globo Ang	1	Merxtrade	MXT-264G4BFX100 ( globo ang)
Válvula Globo Ang	1	Merxtrade	MXT-264G4BFX025 (globo ang)
Chillers	2	AquaForce	30XW-P 1351P
Torres	2	Feiyu Cooling	FYBN-300
Bombas	2	Grunfos	Hydro MPC-E 2 CR 155-1
Bombas	2	Grunfos	Hydro MPC-E 2 CRE 95-1-1
Bombas	1	Grunfos	Hydro MPC-E 2 CRIE 3-4
Bombas	1	Grunfos	Hydro MPC-E 2 CRIE 10-2
Bombas	1	Grunfos	Hydro MPC-E 2 CRIE 15-2
Bombas	2	Grunfos	Hydro MPC-E 2 CRE 32-1-1
Tanques	2	Ekin Global	MIT10-10000
Desgaseificadores	2	Flamco	Vacumat Eco 600
Tubulação 1.25 in	25,47 m	Wheatland Tube	-
Tubulação 3 in	25,82 m	Wheatland Tube	-
Tubulação 4 in	31,05 m	Wheatland Tube	-
Tubulação 5 in	18,56 m	Wheatland Tube	-
Tubulação 6 in	7,749 m	Wheatland Tube	-
Tubulação 8 in	92,73 m	Wheatland Tube	-
Tubulação 10 in	29,61 m	Wheatland Tube	-

## Anexo A



Euribor a 12 meses

<https://www.euribor-rates.eu/en/current-euribor-rates/4/euribor-rate-12-months/>

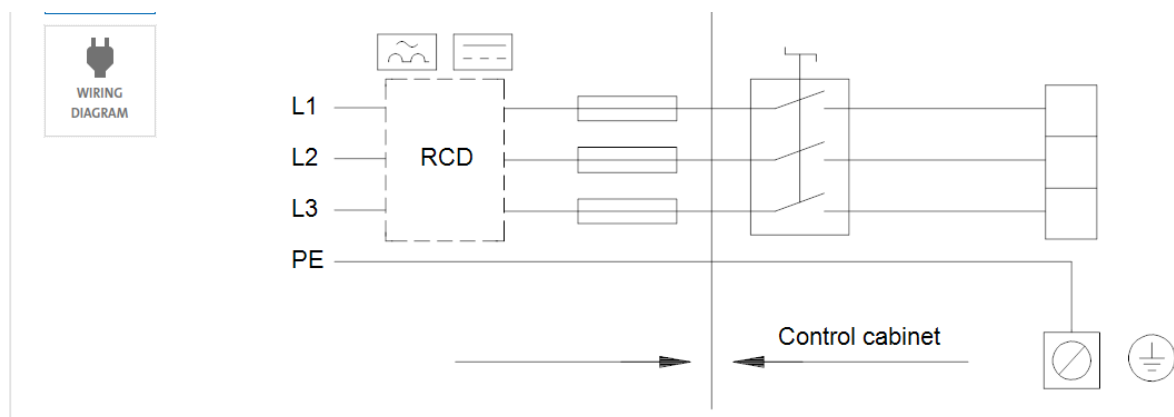
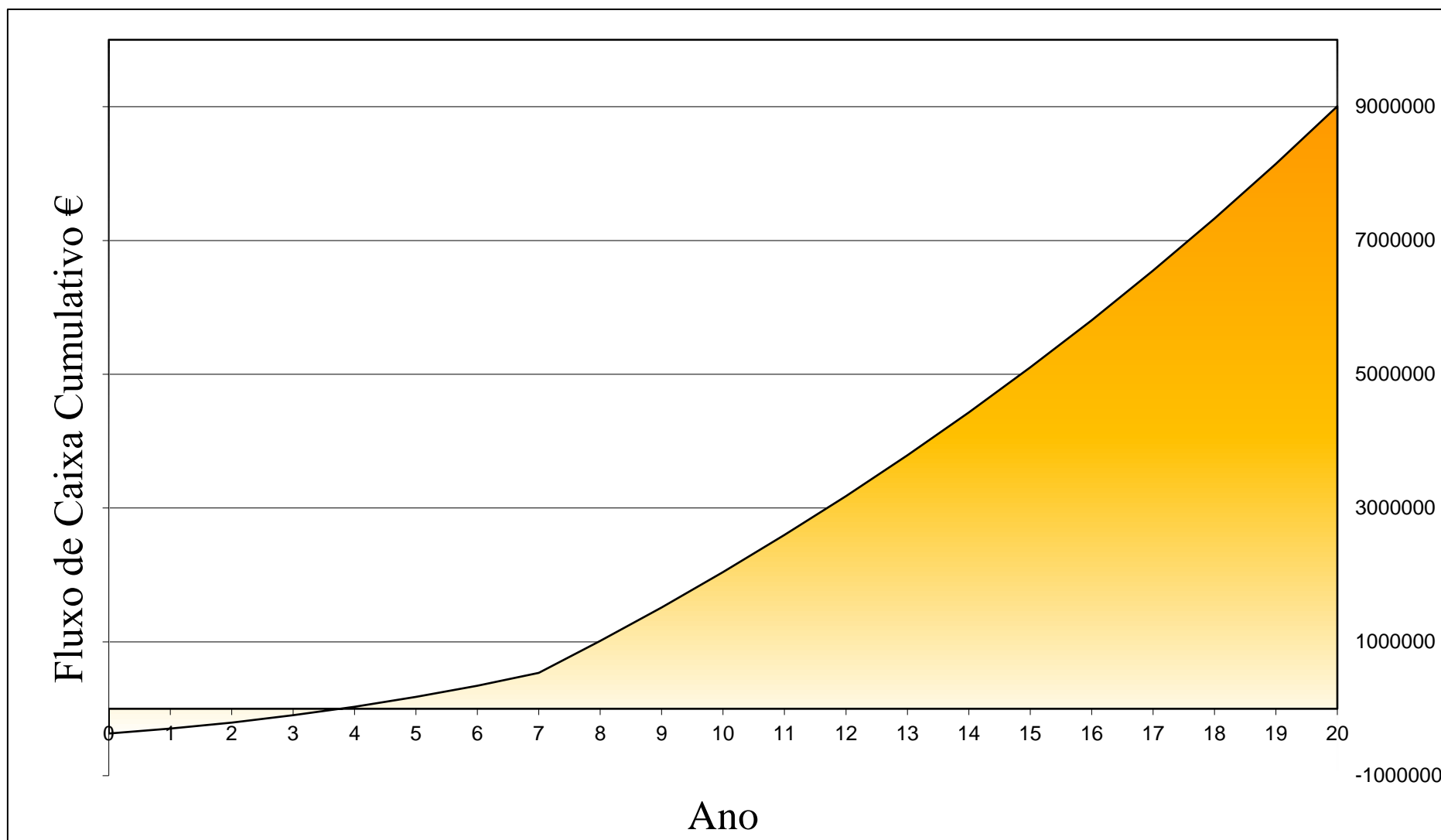
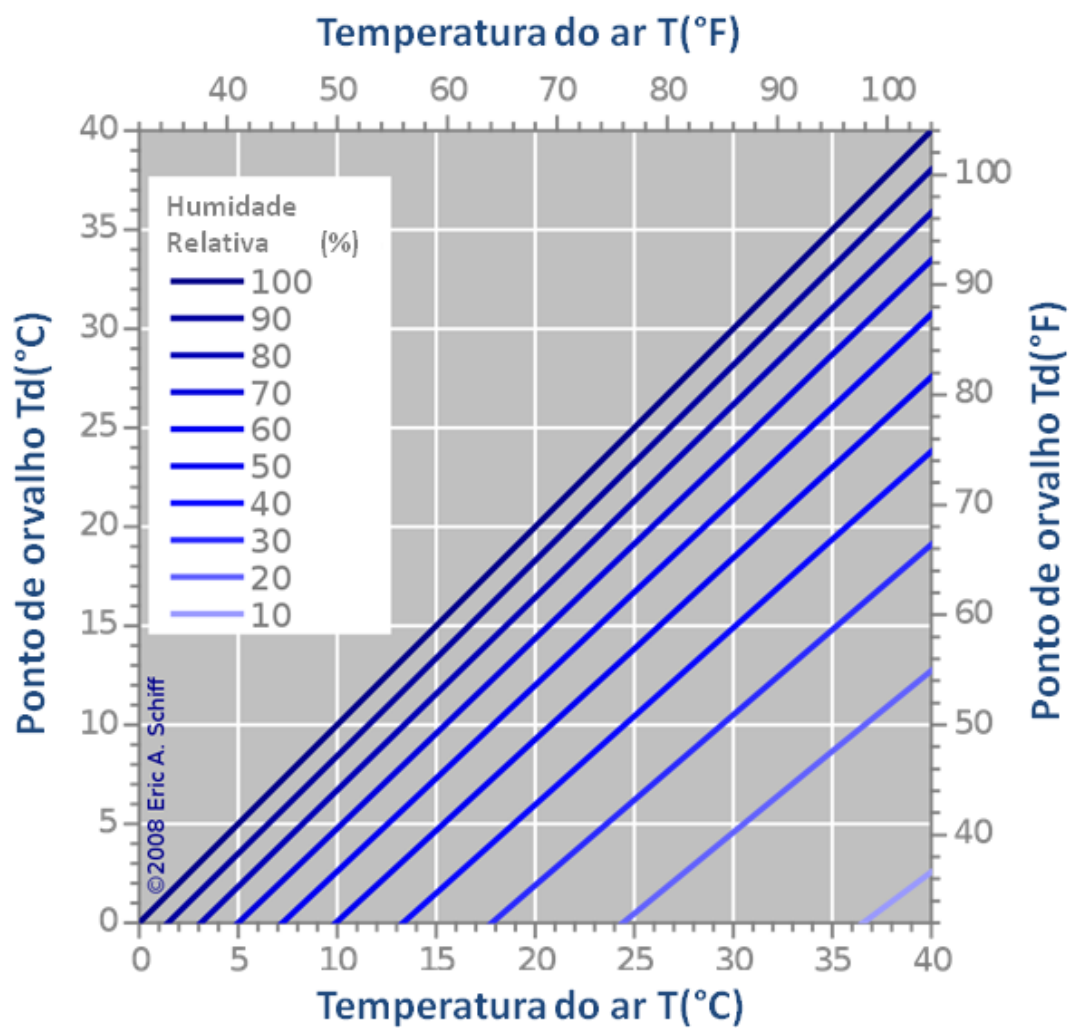


Diagrama eléctrico bombas

<https://product-selection.grundfos.com/products>





[https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponto\\_de\\_orvalho](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponto_de_orvalho)

Ano	Capex (mil €)	Capex Corrigido (mil €)	Opex (mil €)	Opex Corrigido (mil €)	Empresti mo (mil €)	Despesa Anual Total (mil €)	Despesas Acumula das (mil €)
0	205.60						206
1	0	0	21.1	22	140	162	367
2	0	0	21.1	22	140	162	530
3	0	0	21.1	23	140	163	693
4	0	0	21.1	24	140	164	856
5	0	0	21.1	24	140	164	1021
6	0	0	21.1	25	140	165	1186
7	0	0	21.1	26	140	166	1352
8	0	0	21.1	27	0	27	1379
9	0	0	21.1	27	0	27	1406
10	253	340	21.1	28	0	368	1774

11	0	0	21.1	29	0	29	1804
12	0	0	21.1	30	0	30	1834
13	0	0	21.1	31	0	31	1865
14	0	0	21.1	32	0	32	1896
15	20	31	21.1	33	0	64	1960
16	0	0	21.1	34	0	34	1994
17	0	0	21.1	35	0	35	2029
18	0	0	21.1	36	0	36	2065
19	0	0	21.1	37	0	37	2102
20	0	0	21.1	38	0	38	2140
Total	478.6	421.4					

Fluxo sistema térmica

Ano	Capex	Capex Corrigido	Opex	Opex Corrigido	Emprestimo Paineis	Despesa Anual Total	Despesas Acumuladas
	(mil €)	(mil €)	(mil €)	(mil €)	(mil €)	(mil €)	(mil €)
0	388.80						389
1	0	0	11.1	11	261	272	661
2	0	0	11.1	12	261	273	934
3	0	0	11.1	12	261	273	1207
4	0	0	11.1	12	261	273	1481
5	10	12	11.1	13	261	285	1766
6	0	0	11.1	13	261	274	2040
7	0	0	11.1	14	261	275	2315
8	0	0	11.1	14	0	14	2329

9	0	0	11.1	14	0	14	2343
10	10	13	11.1	15	0	28	2372
11	0	0	11.1	15	0	15	2387
12	0	0	11.1	16	0	16	2403
13	0	0	11.1	16	0	16	2419
14	0	0	11.1	17	0	17	2436
15	10	16	11.1	17	0	33	2469
16	0	0	11.1	18	0	18	2486
17	0	0	11.1	18	0	18	2505
18	0	0	11.1	19	0	19	2524
19	0	0	11.1	19	0	19	2543
20	0	0	11.1	20	0	20	2563
Total		41		307	1827		

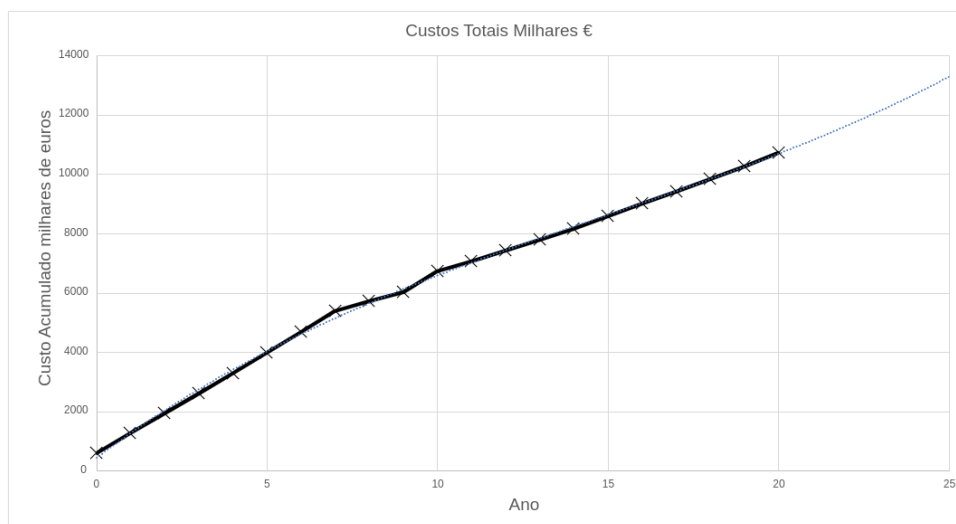
Fluxo paineis

Ano	Capex	Ganhos Anuais Energéticos	Ganhos Anuais Energéticos Corrigidos	Consumos Anuais Energéticos	Consumos Anuais Energéticos Corrigidos	Despesa Anual Total	Despesas Acumuladas
	(mil €)	(mil €)	(mil €)	(mil €)		(mil €)	(mil €)
0	0.00						0
1	0.00	-326	-335	543	559	224	224
2	0.00	-326	-345	543	576	231	455
3	0.00	-326	-356	543	593	238	692
4	0.00	-326	-366	543	611	245	937
5	0.00	-326	-377	543	629	252	1189
6	0.00	-326	-389	543	648	260	1448
7	0.00	-326	-400	543	668	267	1716
8	0.00	-326	-412	543	688	275	1991
9	0.00	-326	-425	543	708	284	2275

10	0.00	-326	-438	543	730	292	2567
11	0.00	-326	-451	543	752	301	2868
12	0.00	-326	-464	543	774	310	3178
13	0.00	-326	-478	543	797	319	3497
14	0.00	-326	-492	543	821	329	3826
15	0.00	-326	-507	543	846	339	4165
16	0.00	-326	-522	543	871	349	4514
17	0.00	-326	-538	543	897	359	4873
18	0.00	-326	-554	543	924	370	5243
19	0.00	-326	-571	543	952	381	5624
20	0.00	-326	-588	543	981	393	6017
Total						0	

Fluxo custos energéticos

Gráfico custos acumulados totais



Tamanhos dos tubos

[https://www.engineeringtoolbox.com/ansi-steel-pipes-d\\_305.html](https://www.engineeringtoolbox.com/ansi-steel-pipes-d_305.html)