

Melhoria de eficiência de uma equipa de instalação de equipamentos

Juliana Sousa

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Jorge Freire de Sousa



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2019-07-01

Aos meus avós,

Resumo

Atualmente, existe uma forte aposta em soluções/produtos customizados, ao contrário do que se observou no passado, onde as grandes empresas alcançaram o seu lugar através da produção em massa. Neste sentido, para sobreviver num mercado que cresce a cada dia que passa e onde a competição nunca deixa de aumentar, é necessário inovar e adaptar-se constantemente.

É neste contexto que a empresa XPTO, apesar de líder de mercado nacional em soluções globais de codificação, solicitou os serviços do Instituto *Kaizen*, com o objetivo de melhorar o desempenho operacional da equipa técnica. Sendo uma subsidiária em Portugal, a sua principal atividade é a instalação de equipamentos de codificação industrial nos clientes. Contudo, oferecem também uma grande variedade de serviços pós-venda, nomeadamente reparações dentro/fora da garantia, contratos de manutenção, entre outros.

Concretamente, esta melhoria assentou sobre três grandes áreas: melhoria do planeamento, normalização do trabalho e otimização de rotas. A primeira foi abordada através da implementação de uma ferramenta de gestão que permitiu aumentar a visibilidade sobre o departamento técnico, tornando evidente quais as encomendas em carteira prontas a instalar e quais as que se encontram pendentes, com o respetivo motivo. Adicionalmente, criou-se uma sequência *standard* a adotar no processo de planeamento, que passou de um horizonte temporal de apenas um dia para duas semanas. Desta forma, observou-se um aumento do número de instalações por semana de 44%, ultrapassando assim o objetivo inicial do projeto (aumentar em 30%).

O segundo tema diz respeito à falta de normalização do processo de instalação, que foi colmatada através da análise do modo de operação atual da equipa técnica e identificação dos principais desperdícios. Posteriormente, procedeu-se à atualização dos *kits* de peças de cada técnico e adotou-se uma mesa de apoio à instalação. Foi também criada uma sequência de operações *standard* para um tipo de tecnologia, de modo a aumentar a qualidade da instalação, sendo ainda necessário formação e treino para que as boas práticas sejam adotadas e sustentadas. Neste sentido, foi possível observar-se uma média de 95% do *First Time Install Rate* (FTIR), valor que ultrapassa o objetivo proposto inicialmente (média de 90%).

Por último, foi criado um modelo para a otimização de rotas que, de acordo com o planeamento semanal, consiste em alocar os técnicos a um determinado serviço, sendo que, caso se justifique, o técnico pode ficar a dormir no local do serviço. Neste sentido, o principal objetivo é minimizar o custo total de transporte, que engloba tanto o custo por quilómetro percorrido como as estadias em hotéis. No final, mostrou-se que com a implementação do modelo de otimização de rotas desenvolvido, seria possível reduzir em média 20% os custos de transporte, valor que satisfaz o objetivo do projeto (redução de 20% dos custos totais das deslocações).

É ainda importante sublinhar o facto de que as grandes mudanças só são possíveis e sustentáveis quando existe o comprometimento e envolvimento de todos os níveis da empresa. Neste caso, tornou-se claro que as soluções desenhadas alcançam o sucesso mais rapidamente quando desenvolvidas por todos os elementos da equipa.

Efficiency improvement of an equipment installation team

Abstract

Currently, there is a strong commitment to customized solutions/products, contrary to what has been observed in the past, where large companies have reached their place through mass production. In this sense, in order to survive in a market that grows every day and where competition never ceases to increase, it is necessary to innovate and adapt constantly.

It is in this context that the XPTO company requested the services of the Kaizen Institute, despite being the national market leader in global coding solutions, in order to improve the operational performance of the technical team. Being a subsidiary in Portugal, its main activity is the installation of industrial codification equipments in the clients. However, they also offer a wide range of after-sales services, including in-warranty/out-of-warranty repairs, maintenance contracts, and more.

Specifically, this improvement was based on three main areas: improvement of planning, standard work and route optimization. The first was addressed by implementing a management tool that allowed to increase the visibility of the technical department, making clear which portfolio orders were ready to be installed and which were outstanding, with the corresponding reason. Additionally, a standard sequence was created in the planning process, from a time horizon of only one day to two weeks. In this way, there was an increase in the number of installations per week of 44%, exceeding the initial goal of the project (increasing 30%).

The second objective concerns the lack of standardization of the installation process, which has been solved by analysing the current mode of operation of the technical team and identifying the main waste. Subsequently, the installation support kits were updated and a support desk was adopted. Furthermore, a sequence of standard operations was created for one type of technology, in order to increase the quality of the installation, although training will be necessary so that good practices are adopted and sustained. In this sense, it was possible to observe an average of 95% of the First Time Install Rate (FTIR), a value that exceeds the initially proposed objective (average of 90%).

Lastly, a model was created for route optimization which, according to the weekly planning, consists in allocating technicians to a given service, and, if justified, the technician can stay asleep at the place of the service. In this sense, the main objective is to minimize the total cost of transportation, which covers both the cost per kilometre travelled and hotel stays. In the end, it was shown that with the implementation of the route optimization model developed, it would be possible to reduce transport costs by 20%, a value that satisfies the project objective (reduction of 20% of total travel costs).

It is also important to underline the fact that major changes are only possible and sustainable when there are commitment and involvement at all levels of the company. In this case, it became clear, once again, that designed solutions achieve success more quickly when developed by all team members.

Agradecimentos

Esta dissertação representa o final de um ciclo, fruto de 16 anos de estudo, esforço e dedicação.

No Instituto Kaizen, agradeço ao Pedro Coelho (meu tutor na empresa) por todos os ensinamentos que me transmitiu e todo o apoio profissional que me deu ao longo destes meses. Em especial, gostaria também de agradecer ao Tiago Abreu, por todas as horas extra que dedicou a ajudar-me e pela orientação e disponibilidade constante ao longo do projeto.

Na FEUP, agradeço ao professor Jorge Freire pela orientação, assim como a todos os professores que contribuíram para o sucesso do meu percurso académico.

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe e aos meus avós, por todo o amor incondicional e preocupação constante.

Agradeço ao meu irmão, por ser a pessoa que mais me ajudou tanto no meu percurso académico como pessoal, desde sempre.

Agradeço ao meu namorado por estar sempre presente, por toda a paciência e ajuda em todos os momentos.

Agradeço aos meus amigos, pela verdadeira amizade que demonstraram ao longo de uma vida. Aos que o desporto me deu, aos que trago na escola e, mais recentemente, aos que conheci em Erasmus, apesar de seguirmos caminhos diferentes, foram sem dúvida uma peça fundamental para o meu sucesso académico e, por isso, obrigada.

Por último, a todas as pessoas que tornaram esta dissertação possível e que fizeram destes últimos cinco anos uma etapa que levo comigo para a vida, um enorme obrigada.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Apresentação do Instituto <i>Kaizen</i>	1
1.2	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Método seguido no projeto	3
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Estado da arte	5
2.1	Filosofia <i>Kaizen</i>	5
2.1.1	Criação de valor para o cliente	5
2.1.2	Ir para o <i>Gemba</i>	6
2.1.3	Eliminar <i>Muda</i> , <i>Muri</i> e <i>Mura</i>	6
2.1.4	Envolvimento das pessoas	7
2.1.5	Gestão visual	7
2.2	Tipos de desperdício	8
2.3	Ciclo PDCA/SDCA	8
2.4	<i>Standard Work</i>	9
2.5	Otimização de rotas	10
2.5.1	<i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP)	10
2.5.2	<i>Multiple Depots Vehicle Routing Problem</i> (MDVRP)	11
2.5.3	<i>Vehicle Routing Problem with Time Windows</i> (VRPTW)	12
2.5.4	<i>Technician Routing and Scheduling Problem</i> (TRSP)	12
3	Caracterização da situação inicial	14
3.1	Processo de planeamento	14
3.2	Processo de instalação	15
3.2.1	<i>Shadowing</i>	15
3.2.2	Análise de dados	16
3.3	O problema das rotas	18
4	Desenho de soluções e implementação	20
4.1	Melhoria do planeamento	20
4.1.1	Desenho de soluções	20
4.1.2	Resultados	22
4.2	Normalização do trabalho	23
4.2.1	Desenho e implementação de soluções	23
4.2.2	Teste Piloto	26
4.2.3	Resultados	27
4.3	Otimização de rotas	29
4.3.1	Descrição do modelo	29
4.3.2	Modelo matemático	30
4.3.3	<i>OpenSolver – COIN Branch-and-Cut Solver</i>	33
4.3.4	Implementação da solução	34
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro	38
	Referências	40
ANEXO A:	E-mail <i>standard</i> para enviar ao cliente	42
ANEXO B:	Email <i>standard</i> a preencher pela equipa comercial	43
ANEXO C:	Norma da instalação para a tecnologia XY-000	44
ANEXO D:	Macros em <i>Excel</i> para obter as matrizes de distância e tempo	45

ANEXO E: Representação visual das rotas da semana 16 (rota real e solução proposta pelo modelo).....	46
------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Siglas

FTFR – *First Time Fix Rate*

FTIR – *First Time Install Rate*

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

SDCA – *Standardize-Do-Check-Act*

VRP – *Vehicle Routing Problem*

MDVRP – *Multiple Depots Vehicle Routing Problem*

VRPTW – *Vehicle Routing Problem with Time Windows*

TRSP – *Technician Routing and Scheduling Problem*

VA – Valor acrescentado

NVA – Não valor acrescentado

Índice de Figuras

Figura 1 - Definição de <i>Kaizen</i>	5
Figura 2 - Definição do princípio <i>Genchi Genbutsu</i>	6
Figura 3 - Representação visual de <i>Muri, Mura e Muda</i>	7
Figura 4 - Evolução dos ciclos PDCA/SDCA	9
Figura 5 - Processo de <i>standard work</i>	10
Figura 6 - Representação visual: VRP <i>Single Depot</i> vs MDVRP	11
Figura 7 - Processo de planeamento	15
Figura 8 - Exemplos das deslocações dos técnicos	17
Figura 9 - Exemplo da falta de organização do local de trabalho	17
Figura 10 – Processo de planeamento proposto	21
Figura 11 – Fases do <i>standard</i> de instalação para a tecnologia XY-000.....	24
Figura 12 – Exemplo da utilização da mesa de apoio.....	27
Figura 13 - Evolução da matriz de competências	28
Figura 14 – Representação visual da decisão de ficar a dormir no local do serviço (comparação das opções 1 e 2)	29
Figura 15 - Exemplo da evolução do método de <i>Branch-and-Cut</i> na resolução de um problema.....	34
Figura 16 – Rotas semanais realizadas pelos técnicos (semana 15).....	35
Figura 17 – Rotas semanais dos técnicos propostas pelo modelo (semana 15).....	35
Figura 18 - Comparação visual entre a rota real e a solução proposta pelo modelo (semanas 15 e 16)	37
Figura 19 - <i>Standard</i> de instalação (XY-000).....	44
Figura 20 - Macro em <i>excel</i> para obter a matriz de tempos.....	45
Figura 21 - Macro em <i>excel</i> para obter a matriz de distâncias	45
Figura 22 - Representação visual das rotas reais (semana 16).....	46
Figura 23 - Representação visual das rotas propostas pelo modelo (semana 16).....	46

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Objetivos propostos para o projeto (por semana)	3
Tabela 2 – Cronograma do projeto	4
Tabela 3 – Exemplo do resultado de uma observação no <i>Gemba</i>	16
Tabela 4 – Análise comparativa dos resultados obtidos (semana 15).....	36
Tabela 5 - Análise comparativa dos resultados obtidos (semana 16).....	36
Tabela 6 - Lista de requisitos necessários a introduzir pela equipa comercial	43

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Análise VA vs NVA	18
Gráfico 2 - Distribuição temporal das tarefas semanais (NVA)	19
Gráfico 3 - Evolução do número de instalações por semana	22
Gráfico 4 – Análise VA vs NVA dos testes piloto	26
Gráfico 5 - Evolução do indicador FTIR ao longo das semanas	27

1 Introdução

No âmbito da dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão, foi realizado um projeto em contexto empresarial no Instituto *Kaizen*. O projeto decorreu numa empresa comercial, que por motivos de confidencialidade será referida como XPTO.

1.1 Apresentação do Instituto *Kaizen*

Num mundo onde a produção em massa parecia ser a solução ideal para alcançar a excelência na eficiência operacional e minimizar os custos, a *Toyota* veio revolucionar a indústria introduzindo o seu novo sistema de produção disruptivo, conhecido atualmente como o *Toyota Production System* (Ohno, 1988). Aqui, foram introduzidos e aplicados princípios relacionados com melhoria contínua, produção sem defeitos, redução dos *stocks* e minimização do desperdício.

O Instituto *Kaizen*, fundado em 1985 por Masaaki Imai, é uma empresa de consultoria que se dedica à implementação destes princípios em diferentes tipos de negócio, sendo o seu principal foco na melhoria contínua. Este último conceito revelou-se crítico para o sucesso de muitas empresas, em particular mercados onde é necessário evoluir e inovar constantemente. A mudança cultural das empresas, que se observou a nível mundial, resultou numa rápida expansão do Instituto *Kaizen*, contando já com 35 escritórios e mais de 1000 colaboradores espalhados pelo globo.

O *Kaizen* implementa as estratégias necessárias para que a melhoria contínua seja uma prática permanente dentro das organizações. Esta filosofia pretende tornar os líderes capazes de conquistar e sustentar melhorias nos resultados, através do aumento de produtividade, da melhoria da qualidade dos produtos e/ou serviços e, acima de tudo, do envolvimento e comprometimento de todos os colaboradores.

Em Portugal, o Instituto *Kaizen* opera desde 1999, contando com escritórios em Lisboa e no Porto, e lida com clientes reconhecidos tanto a nível nacional como internacional. Tratando-se de uma empresa de consultoria operacional, a sua maior área de trabalho é a indústria de processos. Porém, tem havido também uma crescente procura em áreas relacionadas com a saúde, serviços administrativos, retalho, entre outros, dos quais têm nascido projetos piloto reconhecidos mundialmente.

1.2 Enquadramento do projeto e motivação

Atualmente, o ambiente fortemente competitivo que se instalou a nível global leva as empresas a apostarem em produtos/soluções cada vez mais customizados, no sentido de responderem às necessidades de cada cliente, adotando simultaneamente uma política de racionalização de custos e de exploração de oportunidades de melhoria.

A empresa XPTO, líder de mercado nacional em soluções globais de codificação, marcação e etiquetagem industrial, não passa ao lado desta realidade, sendo os seus principais fatores

diferenciadores o serviço de apoio técnico, o serviço pós-venda e o foco na atenção aos seus clientes. Desta forma, existe uma forte aposta tanto na diversificação e customização do produto, como na resposta rápida às necessidades do cliente, seja em serviços de instalação de equipamentos ou em serviços de reparação. Consequentemente, é imperativo que todo o processo de planeamento se torne flexível, eficiente e versátil, por via da redução de desperdício, de forma a sobreviver e competir no mercado.

Sendo a empresa XPTO uma subsidiária em Portugal, o seu modelo de negócio passa por comprar os equipamentos à empresa mãe (atual produtora), e posteriormente instalá-los no cliente. Contudo, oferecem também uma grande variedade de serviços pós-venda, nomeadamente reparações dentro/fora da garantia, contratos de manutenção, etc. Para além disso, participam ativamente em feiras e realizam demonstrações nos clientes, de onde surgem potenciais oportunidades de negócio.

No entanto, apesar de ser líder de mercado, não se encontra satisfeita com os resultados atuais quando comparados com o potencial que poderia atingir. Neste sentido, surgiu a necessidade de melhorar o seu desempenho operacional, e para isso contou com o Instituto *Kaizen*.

Numa fase inicial, foi realizada uma análise exaustiva de diagnóstico à empresa, de modo a perceber ao pormenor a sua atividade e identificar as principais oportunidades de melhoria, com o intuito de posteriormente elaborar uma proposta de implementação adequada à situação. Assim, definiram-se as principais áreas de ataque, de forma a alcançar a melhoria dos resultados globais da organização:

- Aumentar as vendas da empresa;
- Diminuir o número de *re-repairs* – aumentar *First Time Fix Rate* (FTFR);
- Diminuir o número de *re-installs* – aumentar *First Time Install Rate* (FTIR);
- Reduzir o nível de *stock*;
- Aumentar o número de instalações por semana;
- Aumentar o número de reparações por semana.

O arranque do projeto coincidiu com o início da presente dissertação, o que significa que o trabalho aqui apresentado representa o desenvolvimento dos quatro primeiros meses da implementação.

1.3 Objetivos do projeto

Os objetivos do projeto prendem-se com as diferentes áreas de ataque apresentadas na secção anterior. Concretamente, cada área tem associado um *baseline*, isto é, um estado da situação inicial, e um objetivo final, ou seja, o que se pretende alcançar com a implementação das soluções.

Apesar do projeto global apresentar várias frentes, o grande desafio da presente dissertação prende-se com a melhoria operacional do departamento técnico. Neste sentido, foi desenvolvido um trabalho que visa aumentar a eficiência operacional da equipa de instalações, isto é, aumentar o número de instalações por semana, normalizar o processo de instalação e minimizar o custo total de transporte, desenvolvendo em paralelo uma cultura de melhoria contínua.

Concretamente, de acordo com a tabela 1, o trabalho aqui apresentado visa:

1. Aumentar o número de instalações por semana para 12;
2. Aumentar o FTIR semanal para 90%;
3. Diminuir em 20% os custos de transporte semanais.

Tabela 1 – Objetivos propostos para o projeto (por semana)

	Instalações	FTIR	Custos de transporte
Baseline	9	85%	2375€
Objetivo	12	90%	1900€
Melhoria	30%	6%	20%

1.4 Método seguido no projeto

Uma das práticas fundamentais para o sucesso de um projeto é a gestão visual. Quanto mais explícita e visual a informação é apresentada, mais facilmente se identificam as grandes oportunidades, se controla a evolução dos indicadores e se tomam medidas no sentido de colmatar eventuais desvios ao objetivo final.

O projeto teve uma duração total de quatro meses, dividido por três grandes fases:

- Melhoria do planeamento;
- Normalização do trabalho;
- Otimização de rotas.

Dentro de cada fase, foram definidos entregáveis ao longo do tempo de forma a controlar a evolução do projeto, representados no cronograma da tabela 2.

Em primeiro lugar, foi realizado um levantamento de dados e definição do estado atual das três grandes fases do projeto (via observação e recolha de informação).

De seguida, iniciou-se o tratamento dos dados iniciais do planeamento, uma vez que estes iriam servir de base à otimização de rotas, e paralelamente trabalhou-se no sentido da melhoria e normalização do trabalho.

Posteriormente, já com todos os requisitos disponíveis, deu-se início ao desenho de soluções para os dois grandes temas referidos no parágrafo anterior e, uma vez terminado, procedeu-se à respetiva implementação.

Por último, estando as soluções do planeamento já definidas, começou-se o desenvolvimento de um modelo de otimização de rotas, que terminou com o posterior teste da solução.

Tabela 2 – Cronograma do projeto

Fase	Entregável	Fevereiro		Março				Abril				Maio					Junho
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Melhoria do planeamento	Análise da situação inicial	■															
	Tratamento dos dados iniciais			■													
	Desenho da solução					■		■									
	Implementação								■	■	■	■	■	■	■	■	■
2. Normalização do trabalho	Análise da situação inicial	■		■													
	Tratamento dos dados iniciais					■											
	Desenho da solução							■	■	■	■						
	Implementação											■	■	■	■	■	■
3. Otimização de rotas	Análise da situação inicial	■															
	Desenho da solução							■	■	■	■	■	■	■	■		
	Teste de solução															■	■

No início do projeto, foi criada uma *Mission Control Room* nas instalações do cliente, com o intuito de acompanhar visualmente o desenvolvimento dos indicadores, o cumprimento dos entregáveis e os resultados obtidos. Serviu, para além disso, como um importante instrumento de apoio ao planeamento semanal da implementação das ações: *Plan-Do-Check-Act* (PDCA).

Mensalmente, foram também agendados *Steering Committees*, com o intuito não só de apresentar à administração os desenvolvimentos do projeto, como também de receber *feedback* no que diz respeito ao plano de ações e evolução dos indicadores.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

Neste primeiro capítulo, é efetuada uma breve apresentação da empresa, um enquadramento do projeto e a sua motivação, os respetivos objetivos a atingir e ainda a metodologia utilizada.

De seguida, no sentido de apresentar um enquadramento teórico, o capítulo dois contempla uma revisão do estado da arte e os fundamentos teóricos das ferramentas que servirão de base ao desenvolvimento do projeto.

O capítulo três retrata a situação inicial da empresa nas suas três grandes fases: melhoria do planeamento, normalização do trabalho e otimização de rotas.

Por sua vez, o quarto capítulo explica o desenho e implementação das soluções elaboradas, de forma a atingir os objetivos propostos no projeto de melhoria.

Finalmente, o último capítulo apresenta as conclusões que resultaram do desenvolvimento do projeto, bem como propostas de desafios futuros.

2 Estado da arte

Neste capítulo são introduzidos os conceitos teóricos que serviram de base ao desenvolvimento do projeto.

2.1 Filosofia Kaizen

“If you always do what you always did, you always get what you always got” - Albert Einstein

Kaizen é uma palavra com origem no Japão que significa melhoria contínua (Figura 1). De acordo com Imai (1996), o *Kaizen* é um processo de melhoria contínua que envolve todos os níveis da empresa, desde os diretores aos colaboradores, e que implica todos fazerem melhor, todos os dias, em todas as áreas - “*Everyone, everyday, everywhere*”.



Figura 1 - Definição de *Kaizen*

Fonte: (Kaizen, 2019a)

Teian (1992) descreve que o *Kaizen* é mais do que apenas um meio de melhoria, uma vez que representa as dificuldades diárias que ocorrem no local de trabalho e como essas mesmas dificuldades são ultrapassadas. Por outro lado, Hammer et al. (1993) explicam como o *Kaizen* promove um pensamento orientado aos processos, uma vez que são esses mesmos processos que devem ser melhorados antes de se obter resultados melhores. É esse foco na melhoria dos detalhes do processo que trará resultados extraordinários.

Segundo Coimbra (2013), o *Kaizen* assenta em cinco princípios fundamentais, apresentados com maior detalhe na secção seguinte.

2.1.1 Criação de valor para o cliente

Em primeiro lugar, é imperativo compreender as necessidades do cliente. Na verdade, um excelente exemplo deste princípio pode ser observado atualmente na *Apple*. O grande foco da empresa assenta exatamente no desenvolvimento do produto e na capacidade de criar uma experiência de consumidor diferenciadora. Desta forma, conseguiram antecipar e realmente

entender os desejos e necessidades dos clientes e, como resultado, desenvolveram uma marca reconhecida mundialmente e introduziram um telemóvel que contagiou o mundo - o *iPhone*.

Por outro lado, é também importante satisfazer o chamado “cliente interno” - “*The next process is the customer*” (Imai, 1996). Deste modo, nasce a responsabilidade dos trabalhadores pelo seu trabalho, comprometendo-se a não deixar passar para o processo seguinte peças com defeitos, isto é, que não estão em conformidade com os requisitos do cliente, ou informações erradas.

2.1.2 Ir para o *Gemba*

“Toyota managers should be sufficiently engaged on the factory floor that they have to wash their hands at least three times a day” - Taiichi Ohno

Gemba é uma palavra de origem japonesa que significa “lugar verdadeiro”, isto é, o local onde as atividades que acrescentam valor realmente acontecem. Este termo está associado à expressão que se insere no princípio *Genchi Genbutsu* (Figura 2), que por sua vez representa uma atitude.



Figura 2 - Definição do princípio *Genchi Genbutsu*

Fonte: (Borja, 2017)

Assim, é importante ir para o *Gemba* e ver o que efetivamente acontece no dia-a-dia. De facto, na *Toyota*, os funcionários são incentivados a ir constantemente ao local do problema no sentido de recolher dados na primeira pessoa. É a partir destes dados que se torna possível analisar os problemas que ocorreram, com vista a identificar as principais oportunidades de melhoria e construir os respetivos planos de ação.

2.1.3 Eliminar *Muda*, *Muri* e *Mura*

Na procura constante pela melhoria contínua e eliminação do desperdício, é importante perceber a diferença entre estes três conceitos. Segundo Ohno (1988), *Muda* representa desperdício, ou seja, todas as atividades de uma empresa pelas quais o cliente não está disposto a pagar. Consequentemente, devem ser eliminadas.

Por outro lado, *Muri* traduz-se em excesso de trabalho/dificuldade ou sobrecarga existente na organização. Desta forma, *Muri* faz com que as máquinas ou as pessoas ultrapassem os seus limites naturais – enquanto que nas pessoas pode provocar eventuais problemas de saúde, segurança e qualidade, nas máquinas resulta num aumento de defeitos e avarias.

Por último, *Mura* significa inconsistência e irregularidade. Representa, essencialmente, a falta de balanceamento do trabalho.

A figura 3 representa visualmente as diferenças entre estes três conceitos:

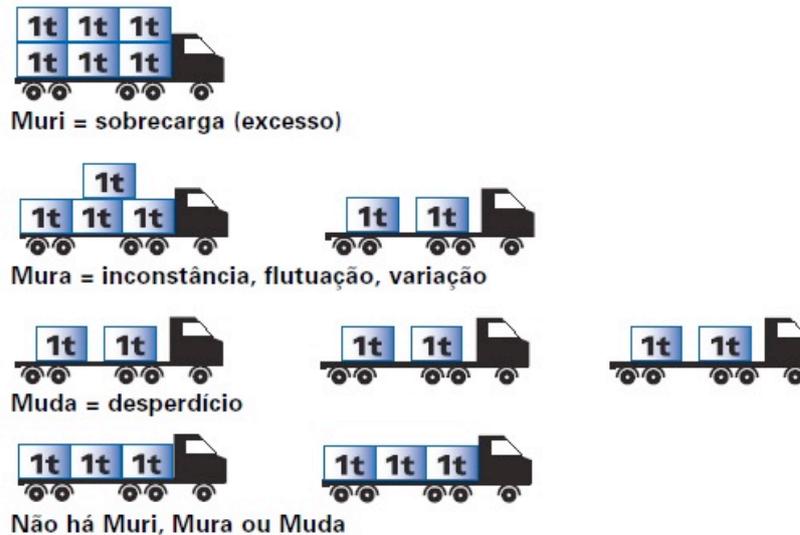


Figura 3 - Representação visual de *Muri*, *Mura* e *Muda*

Fonte: (LIB, 2019)

2.1.4 Envolvimento das pessoas

“It doesn't make sense to hire smart people and then tell them what to do. We hire smart people so they can tell us what to do.” – Steve Jobs

No Instituto *Kaizen*, os problemas são vistos como oportunidades de melhoria. Desta forma, só é possível atingir a melhoria através da participação de todos e da valorização da sua opinião e do seu trabalho, maximizando assim o potencial dos colaboradores (Kaizen, 2019a). Porque o que hoje parece ser o processo ideal, no dia seguinte deixa de o ser, e cabe a cada um pensar como fazer melhor o trabalho de amanhã, com o intuito de sustentar a excelência operacional.

De facto, atualmente existe uma enorme resistência à mudança por parte das pessoas, sendo que é fundamental realçar o papel das mesmas nas atividades de melhoria. Afinal, as pessoas são a base de qualquer instituição, e são as únicas que fazem com que a melhoria aconteça.

Muitas empresas acreditam que as ferramentas por si só são capazes de gerar os resultados pretendidos, mas esquecem-se da importância do comprometimento a longo prazo que é necessário adotar com os seus colaboradores. Isto porque *Kaizen* é muito mais do que as ferramentas - é uma forma da empresa compreender e implementar todo o sistema de melhoria de uma forma sustentável.

2.1.5 Gestão visual

A gestão visual tem origem essencialmente no ditado popular “uma imagem vale mais do que mil palavras”. Consiste, essencialmente, em expor visualmente toda a informação relevante e torná-la acessível a todos. Desta forma, é possível identificar rapidamente tudo aquilo que é considerado valor acrescentado e tudo o que se revela como desperdício.

Neste sentido, é importante que a informação seja apresentada da maneira mais explícita e visual possível, uma vez que só assim as grandes oportunidades são identificadas facilmente e os diferentes planos de ação podem ser gerados, no sentido de evitar eventuais desvios face ao objetivo final (Kaizen, 2019b).

2.2 Tipos de desperdício

O *Kaizen* define sete formas de desperdício e visa a sua eliminação no sentido de alcançar a competitividade e excelência operacional (Imai, 1996):

1. **Produção em excesso:** idealmente, deve-se produzir apenas as quantidades correspondentes às encomendas em carteira, uma vez que tudo o que é produzido acima desse valor é considerado desperdício, visto que o cliente só está disposto a pagar por aquilo que realmente pediu. Desta forma, é importante realçar que este é considerado o pior dos desperdícios, uma vez que é aquele que agrava todos os outros;
2. **Inventário:** material parado significa dinheiro retido e espaço ocupado e, como tal, deve ser eliminado. No entanto, é importante sublinhar o facto de que a existência de *stock* de produto final funciona como um alerta de excesso de produção, sendo que elevados níveis de inventário podem revelar-se o resultado de outros tipos de problemas;
3. **Espera:** representa o tempo no qual as pessoas, máquinas, produtos ou outros recursos não estão a ser utilizados e, como tal, estão à espera para trabalhar. No entanto, este tipo de desperdício pode ser causado pela falta de balanceamento das linhas, falta de material, quebras no sistema, entre outros. Contudo, muitas vezes é necessário estudar o processo e perceber a origem deste desperdício, para, mais tarde, eliminá-lo;
4. **Transporte:** transporte de pessoas ou materiais não acrescenta valor, isto é, o cliente não está disposto a pagar por isso, mas sim pelo produto final. Contudo, esta movimentação por vezes é necessária e, como tal, nem sempre é possível eliminá-la por completo;
5. **Sobre processamento:** em diversos casos, existem processos que podem revelar-se uma fonte de desperdício, uma vez que nem todos são realmente necessários. De facto, alguns processos resultam de outros tipos de desperdício, que, uma vez eliminados, deixariam de fazer sentido;
6. **Defeitos:** defeito significa o produto/serviço não estar em conformidade com os requisitos do cliente. Assim, este tipo de desperdício inclui todos os custos imputados pelo retrabalho, reparações, inspeções e devoluções;
7. **Movimento:** movimento sem necessidade não acrescenta valor – por sua vez, consome tempo que poderia estar a ser utilizado para produzir/criar valor. De facto, este tipo de desperdício pode resultar da falta de organização do material, postos de trabalho muito distantes, entre outros.

2.3 Ciclo PDCA/SDCA

O ciclo PDCA é também conhecido como ciclo de Shewhart ou ciclo de Deming. De acordo com Johnson (2002), este tema foi discutido pela primeira vez por Walter Shewhart quando, em 1939, lançou o livro “*Statistical Method From the Viewpoint of Quality Control*”. Aqui, explicou como a constante mudança e adaptação das práticas de gestão, bem como a capacidade de inovar a cada dia que passa se revelaram a chave para a evolução no sentido da excelência operacional. No entanto, foi Edwards Deming quem batizou esta ferramenta como o ciclo PDCA.

Deste modo, é importante detalhar as quatro fases distintas em que esta ferramenta se divide (Imai, 1996):

1. **Plan** (planear): esta fase é considerada a etapa mais importante do processo. Refere-se à definição do objetivo da melhoria e da criação do plano de ações a ser implementado;

2. **Do** (executar): diz respeito à implementação do plano de ações;
3. **Check** (verificar): esta fase garante o controlo do projeto. Neste sentido, é necessário perceber se as ações implementadas estão realmente a gerar os resultados necessários e as melhorias propostas;
4. **Act** (agir): consiste na normalização e partilha dos procedimentos idealizados no plano de ações, no sentido de evitar que o problema original se repita.

No entanto, antes de se começar a trabalhar no PDCA, o processo atual deve ser estabilizado num processo geralmente chamado de *Standardize-Do-Check-Act* (SDCA).

De acordo com Imai (1996), o ciclo SDCA refere-se à manutenção dos processos atuais, normalizando e estabilizando-os, enquanto que o ciclo PDCA refere-se à sua melhoria, aprimorando-os ou introduzindo soluções disruptivas (Figura 4). Estas ferramentas tornam-se então nas duas principais responsabilidades da administração.

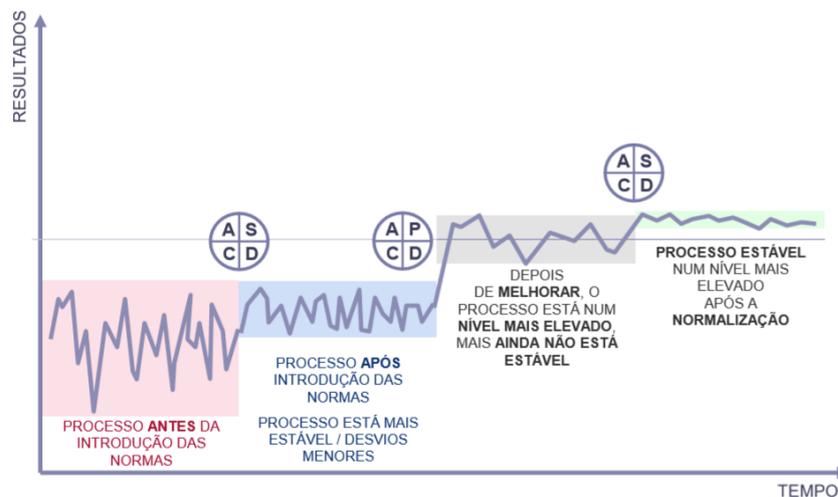


Figura 4 - Evolução dos ciclos PDCA/SDCA

Fonte: (Kaizen, 2019c)

2.4 Standard Work

O *standard work* é uma metodologia que representa a otimização das tarefas dos operadores, no sentido de reduzir a variabilidade (Kaizen, 2019c). Desta forma, garante que todos os processos são executados da forma mais eficiente possível.

Esta metodologia é baseada na observação empírica, com o intuito de detetar as grandes dificuldades e principais oportunidades de melhoria, sendo que as melhores práticas são depois implementadas por todos os operadores. Assim, observa-se um processo de melhoria contínua sem fim, uma vez que o *standard* de hoje representa o ponto de partida para o *standard* de amanhã. Adicionalmente, constata-se que a criação de normas visuais permite aumentar não só a ocupação das pessoas como também o uso dos equipamentos (Kaizen, 2019c).

O processo de *standard work* está dividido em cinco fases (Figura 5):

1. Definição de objetivos SMART (Simples, Mensurável, Atingível, Relevante e Temporal);
2. Realização do diagrama *Spaguetti* (registo visual dos movimentos efetuados), medição de tempos e caça ao *Muda*;

3. Implementação de ideias de melhoria;
4. Normalização do trabalho;
5. Formação dos colaboradores e *follow-up*.



Figura 5 - Processo de *standard work*

Fonte: (Kaizen, 2019c)

Segundo Coimbra (2013), *standard work* é definido como o desenvolvimento de padrões que representam o método de trabalho mais eficiente. Assim, o objetivo é minimizar e controlar a variação na produção, a qualidade, os níveis de *stock* e o custo do *WIP* (*Work in Process*). É ainda importante referir alguns dos benefícios desta metodologia, uma vez que os *standards* de trabalho revelam um papel fundamental na prevenção de erros, encorajam a consistência das operações, estabelecem objetivos e facilitam a formação de novos operadores. Para além disso, constituem uma importante ferramenta para a sustentação de melhorias (Imai, 1996).

Resumindo, o *standard work* resulta numa melhoria dos processos, alinhando todos os operadores para a adoção das melhores práticas conhecidas até à data, com vista à redução do desperdício.

2.5 Otimização de rotas

O grande foco deste subcapítulo é perceber qual a melhor abordagem a adotar para o problema de otimização de rotas, definindo uma modelação matemática que traduza o problema em estudo e permita encontrar as soluções. Mais do que detalhar os algoritmos por detrás, é necessário compreender o problema e construir um modelo robusto capaz de gerar os resultados pretendidos.

2.5.1 *Vehicle Routing Problem* (VRP)

Neste sentido, é apresentado o termo *Vehicle Routing Problem* (VRP), introduzido por Dantzig e Ramser (1959) como "*Truck Dispatching Problem*", onde demonstraram como um conjunto de camiões idênticos seriam capazes de dar resposta à procura de petróleo de vários postos de gasolina espalhados pelo mapa. Assumindo que todos os veículos partem de um único ponto central, o objetivo passou por minimizar a distância total percorrida.

Mais tarde, Clarke e Wright (1964) generalizaram este problema para um problema de otimização linear, que facilmente se encontra no domínio da logística e do transporte. Segundo Toth e Vigo (2002), o VRP determina o conjunto ótimo de rotas a serem executadas por um conjunto de veículos, com vista a servir clientes específicos, sendo que é considerado um dos mais importantes problemas de otimização combinatória.

Atualmente, os modelos de VRP pretendem cada vez mais incorporar complexidades da vida real, tais como: tempos de viagem que dependem do horizonte temporal considerado (refletindo a situação do trânsito) e informações de entrada (como, por exemplo, informações acerca da procura dos clientes) que mudam dinamicamente ao longo do tempo.

Existem ainda vários registos na literatura que evidenciam como a otimização de rotas pode resultar numa poupança económica significativa para as empresas, estimada entre 5 a 30% por Hasle e Kloster (2007) ou 5 a 20% por Toth e Vigo (2002).

2.5.2 Multiple Depots Vehicle Routing Problem (MDVRP)

O *Multiple Depots Vehicle Routing Problem* (MDVRP) vai além do problema básico, sendo que deixa de haver um ponto central para todos os recursos e passam a existir múltiplas bases que traduzem o ponto de partida dos diferentes veículos (Figura 6). Dependendo da situação, os veículos ou são obrigados a retornar à base (fixa) ou essa limitação não existe (não fixa). Contudo, para resolver este problema, muitas vezes é necessário agrupar os clientes em *clusters*, onde cada um dos *clusters* é visitado por um único veículo a partir da base inicial mais próxima.

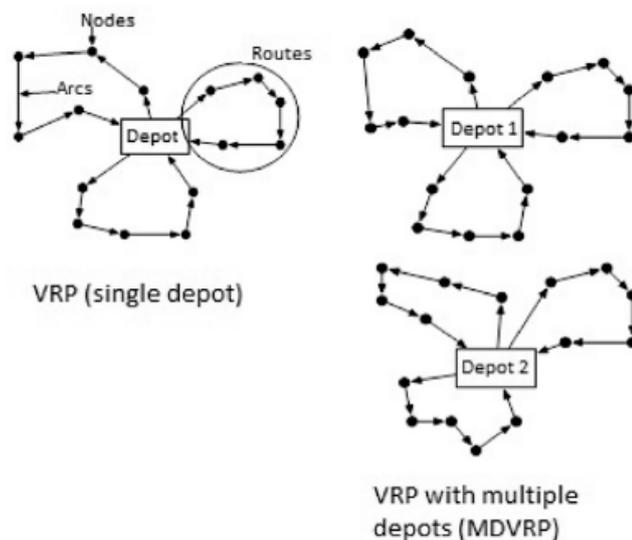


Figura 6 - Representação visual: VRP *Single Depot* vs MDVRP

Fonte: (Jairo et al, 2015)

De acordo com a literatura, Crevier et al. (2007) apresentaram uma metodologia trifásica no sentido de chegar à solução do MDVRP, na qual evidenciaram que, ao longo de cada rota, os diferentes veículos poderiam ser reabastecidos em postos intermédios. Esta metodologia teve por base heurísticas como *adaptive memory* e *tabu search* para a geração de um conjunto de rotas distintas, e basearam-se também na programação inteira para o cálculo do *set partitioning algorithm*, algoritmo este que permitiu a criação de um conjunto de rotas possíveis que minimizam o custo total.

Adicionalmente, Ho et al. (2008) apresentaram dois algoritmos genéticos híbridos (AGHs) no sentido de solucionar o MDVRP de forma eficiente. A principal diferença entre os dois é que as soluções iniciais são geradas aleatoriamente no AGH1. Por outro lado, tanto o *saving method*, apresentado por Clarke e Wright (1964), como a heurística *nearest neighbour* são incorporados no AGH2 para o procedimento inicial do algoritmo. Posteriormente, foi realizado um estudo computacional com o intuito de comparar os algoritmos com diferentes tamanhos de problemas. Concluiu-se que o desempenho do AGH2 é superior ao do AGH1 no que diz respeito ao tempo total de entrega.

Finalmente, Mirabi et al. (2010) propuseram três heurísticas híbridas para resolver o problema de otimização de rotas com múltiplas bases iniciais. Cada heurística híbrida apresentada combina elementos relacionados tanto com heurísticas construtivas como técnicas de intensificação. Posteriormente, foram realizadas experiências em vários problemas de teste, gerados aleatoriamente com diferentes pontos de partida e com uma dimensão variável de

clientes. Por fim, foram ainda realizados testes estatísticos no sentido de sustentar as soluções de melhoria apresentadas.

2.5.3 *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*

O *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)* é uma extensão do VRP, onde cada cliente tem associada uma janela temporal, ou seja, cada cliente fornece um período de tempo dentro do qual um determinado serviço ou tarefa deve ser concluído.

De acordo com a literatura, Solomon (1987) apresentou um conjunto de problemas de referência para o VRPTW e conduziu um estudo computacional com diferentes algoritmos heurísticos, no sentido de resolver as restrições anteriormente referidas. Neste sentido, foi utilizada a heurística de Solomon para encontrar os clientes iniciais e o número de veículos necessários. Contudo, foi implementada uma medida de arrependimento para selecionar qual o cliente a ser inserido em cada iteração. Assim, caso haja uma solução viável com um número fixo de veículos, este número é reduzido e a viabilidade é verificada. Caso contrário, o algoritmo procura uma solução viável com um número de veículos superior. Resumindo, o conjunto de problemas apresentado inclui rotas e agendamentos com ambientes diferentes, isto é, diferem em termos de tipo de dados utilizados para gerar os problemas, a percentagem de clientes com janelas temporais, o seu posicionamento e o horizonte temporal de agendamento. Em suma, constatou-se que várias heurísticas apresentaram um bom desempenho em diferentes ambientes - em particular, a heurística do tipo de inserção apresentou resultados muito bons de forma consistente.

Por outro lado, Rochat e Taillard (1995) apresentaram uma técnica probabilística para diversificar, intensificar e paralelizar uma técnica de *local search* adaptada para a solução de problemas de otimização de rotas. Aqui, são geradas várias soluções iniciais, sendo que cada rota de uma solução gerada é rotulada com o valor objetivo da solução (por exemplo, tempo de viagem), e posteriormente é adicionada a um conjunto de rotas chamado *adaptive memory*. Dependendo do rótulo correspondente, uma rota tem uma probabilidade maior ou menor de ser escolhida, sendo que uma probabilidade superior é atribuída a uma boa solução. Em seguida, uma nova solução é construída. Em cada seleção, as rotas do conjunto que possuem clientes pertencentes às rotas já escolhidas são ignoradas. Depois disso, se houver clientes remanescentes a serem inseridos e não houver mais rotas a serem selecionadas, os clientes serão inseridos por uma heurística de inserção. Nesta fase, a nova solução é rotulada com o respetivo valor objetivo e adicionada ao conjunto de rotas. As etapas são repetidas até que um critério de paragem seja satisfeito. Em suma, esta técnica torna a heurística de *local search* mais robusta, uma vez que converge mais rapidamente para soluções cuja qualidade se encontra próxima da melhor solução conhecida até à data.

2.5.4 *Technician Routing and Scheduling Problem (TRSP)*

No *Technician Routing and Scheduling Problem (TRSP)* os técnicos são afetados a diferentes tarefas no sentido de minimizar o custo total, satisfazendo as várias restrições inerentes ao problema em questão. Este problema pertence à classe do VRP e está relacionado em particular com o VRPTW (isto é, tendo em consideração as janelas temporais associadas). No entanto, existem diferenças significativas entre os dois, tais como requisitos de competências que os técnicos devem ter, no sentido de serem capazes de executar diferentes tipos de tarefas, e tempos de serviço relativamente grandes quando comparados com os tempos de viagem. Contudo, os TRSPs receberam uma atenção limitada em comparação com os VRPs, apesar das suas inúmeras aplicações práticas.

O primeiro trabalho sobre este tema é introduzido em 1997 por Tsang e Voudouris, onde os autores apresentam o "*Technician Workforce Scheduling Problem*" enfrentado pela *British*

Telecom na altura. Contudo, este problema apresenta a particularidade de que não existem restrições de competências de trabalho, isto é, todos os técnicos são capazes de realizar todo o tipo de tarefas. No entanto, foi introduzido um fator de especialização, o qual reduzia o tempo de serviço dependendo da experiência do técnico. Aqui, foram utilizadas heurísticas como *guided local search* e *fast local search* no sentido de resolver este problema. A eficácia destas heurísticas foi demonstrada pelo facto de que ambas superaram todos os métodos aplicados a este problema até à data, os quais incluem *simulated annealing*, algoritmos genéticos e *constraint logic programming*.

Anos mais tarde, Xu e Chiu (2001) propuseram um *mixed integer linear programming* com o intuito de solucionar o TRSP, sendo que o objetivo passa por maximizar o número de solicitações atendidas, considerando as prioridades, competências e horas extras das solicitações. Para tal, utilizaram quatro heurísticas baseadas em *local search* e *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP). Os resultados computacionais obtidos indicaram que o GRASP é o mais eficaz entre eles; contudo, requer mais tempo de processamento. Adicionalmente, Blakeley et al. (2003) resolveram um problema de manutenção periódica para os elevadores e escadas rolantes enfrentado pela *Schindler Elevator Corporation*. Aqui, as rotas geradas para os diferentes técnicos tinham em consideração as especializações de cada um, os tempos de viagem entre serviços e os regulamentos de trabalho.

Adicionalmente, uma variante dinâmica do TRSP é introduzida por Bostel et al. (2008). Neste caso, foi apresentado um problema enfrentado pela *Veolia*, uma empresa de tratamento e distribuição de água. Neste problema, os autores afirmam que as rotas dos técnicos devem ser planeadas durante um período de uma semana para reparações ou manutenções. Desta forma, ao serem programadas as tarefas previamente, torna-se possível reconhecer e identificar os problemas antecipadamente (manutenção preventiva). Contudo, existe também a possibilidade destes problemas ocorrerem de forma dinâmica, sendo que cada tarefa tem uma janela temporal associada ao serviço. Em primeiro lugar desenvolveram um algoritmo memético e uma *column generation/branch and bound heuristic* para otimizar um plano inicial num horizonte estático, o qual foi aplicado nas tarefas que não variam no tempo, no sentido de originar rotas para todos os dias da semana. Posteriormente, as tarefas dinâmicas foram integradas na solução à medida que ocorriam. Os procedimentos foram então testados em dados reais do setor de distribuição de água e obtiveram-se boas soluções num período de tempo considerável. Deste modo, evidenciaram, em particular, a vantagem da reutilização de soluções parciais do plano anterior para a otimização de cada novo plano.

Finalmente, Tricoire et al. (2013) estudaram um problema de *multi-period field service* em que a disponibilidade dos técnicos varia durante o período de planeamento. De acordo com a definição por parte dos autores, um recurso é um par que associa um técnico a um dia. Durante o dia, um técnico está disponível apenas para um determinado intervalo de tempo. Há também um período de validade (ou seja, um ou mais dias consecutivos) durante o qual uma determinada solicitação deve ser atendida. Para facilitar, pode ser usada uma matriz com restrições de compatibilidade entre solicitações e recursos, semelhante à das competências técnicas e dos níveis de especialidade. Desta forma, os autores propuseram uma *column generation technique* e desenvolveram um *exact branch and price solution method* para problemas de pequena dimensão. Adicionalmente, apresentaram várias versões heurísticas para problemas de maiores dimensões. Em suma, os tempos computacionais continuam bastante longos, mas a *column generation technique*, com o uso de um método heurístico para o subproblema, fornece soluções de boa qualidade, melhores do que aquelas obtidas por métodos heurísticos ou meta heurísticos desenvolvidos para instâncias semelhantes deste problema.

3 Caracterização da situação inicial

A visão de melhoria requer, em primeiro lugar, uma avaliação cuidada do estado atual dos processos assim como o levantamento dos principais problemas, no sentido de garantir a viabilidade de uma implementação sustentada.

Como resultado desta avaliação, os grandes desperdícios são divididos e categorizados com o intuito de identificar as principais oportunidades de melhoria.

3.1 Processo de planeamento

Inicialmente, em média, apenas eram realizadas nove instalações por semana, sendo a equipa constituída por sete técnicos. No sentido de perceber como se poderia aumentar este valor, em primeiro lugar foi importante conhecer em detalhe o processo e a sequência das operações, de modo a tornar possível a identificação das grandes oportunidades de melhoria.

Neste sentido, foi realizado um mapeamento do processo de planeamento. O primeiro passo é analisar a capacidade livre, isto é, perceber quais os técnicos disponíveis para as instalações e, de seguida, analisar a carteira de encomendas.

Aqui, é importante realçar o método de pagamento utilizado pela empresa – 30% com a compra, 60% antes da instalação e 10% a prazo, depois da instalação (normalmente a 30 dias) – que, apesar de ser um fator externo e a empresa não controlar diretamente, influencia o processo de planeamento, uma vez que só se pode agendar a instalação após pagamento por parte do cliente das duas primeiras parcelas.

No entanto, existia também falta de visibilidade no que diz respeito à chegada dos equipamentos, pelo que não se consegue planear instalações sem saber quando é que os equipamentos encomendados darão entrada na empresa. Para além disso, percebeu-se que existia constantemente falta de informação por parte da equipa comercial, o que significa que, em muitos casos, os componentes que vêm contemplados na proposta (isto é, os que o comercial negociou com o cliente) não são suficientes ou adequados para aquele tipo de linha de produção e/ou produto a codificar, sendo necessária uma reformulação dos materiais indispensáveis que, caso não estejam disponíveis em *stock*, é necessário encomendar, impossibilitando a conclusão da instalação. Desta forma, obriga à existência de um *re-install* e compromete desde logo a satisfação do cliente.

De seguida, estando já assegurados tanto o pagamento como os equipamentos necessários, dá-se o cruzamento da matriz de competências com as encomendas em carteira, uma vez que nem todos os técnicos têm conhecimento suficiente para instalar todo o tipo de tecnologias. Tal facto dá origem a uma grande falta de flexibilidade no que diz respeito à alocação dos técnicos, uma vez que é necessário restringir cada um às suas respetivas competências. Depois, é necessário validar que o material já se encontra separado e pronto a enviar, isto é, que já estão agrupados e separados fisicamente todos os componentes necessários a cada instalação.

Posteriormente, entra-se em contacto com o cliente para o agendamento da instalação e levantamento de requisitos. É importante sublinhar a importância deste passo, uma vez que, para que a instalação seja possível, o cliente tem que garantir uma série de requisitos prévios, tais como ar comprimido no local onde o codificador vai ser instalado, acesso à rede, tomadas, etc. Contudo, não existia um *standard* no que diz respeito a este levantamento, pelo que, muitas das vezes, nem todos os requisitos eram assegurados previamente, o que significa que quando o técnico chegava ao local da instalação, ou tinha de esperar que todas as condições necessárias estivessem reunidas ou, em alguns casos, era obrigado a ir embora e reagendar.

Finalmente, segue-se a criação do Pedido de Assistência Técnica (PAT) e passagem de informação à equipa, alocando cada técnico à respetiva instalação do dia seguinte. A figura 7 explica, de uma forma resumida, o processo de planeamento inicial.

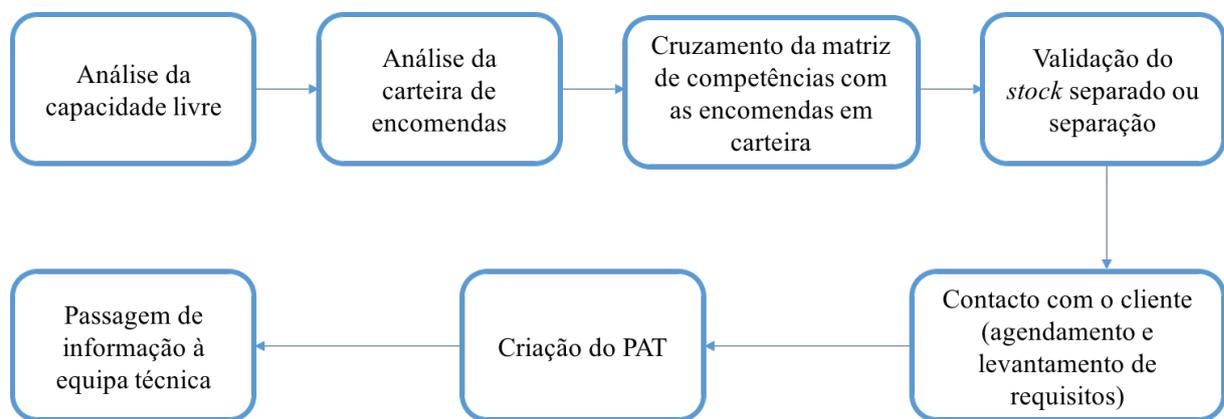


Figura 7 - Processo de planeamento

Em suma, constatou-se que o facto de existir um planeamento diário, isto é, planear as instalações de um dia para o outro, gera problemas a nível de flexibilidade, capacidade de resposta, tempo despendido, custos (rotas não otimizadas) e ainda a nível da qualidade da instalação, uma vez que os erros acontecem como resultado da falta de planeamento prévio e preparação (por exemplo, alocar mais do que um técnico à mesma instalação). Concluiu-se, por isso, que um horizonte temporal de planeamento tão curto é insustentável para uma empresa desta dimensão, gerando inúmeras reclamações e ineficiências (15% das instalações realizadas davam origem a um *re-install*).

3.2 Processo de instalação

Inicialmente, não existia qualquer *standard* no que diz respeito à instalação de equipamentos, o que significa que cada técnico instalava a mesma máquina de maneira diferente. Desta forma, é possível constatar uma enorme variabilidade no que concerne à qualidade da instalação (número de *re-installs* provocados), algo que a normalização do trabalho visa eliminar.

3.2.1 *Shadowing*

Shadowing consiste numa técnica de observação do trabalho de um ou mais colaboradores, fisicamente e em tempo real, com o objetivo de perceber o seu dia-a-dia. Assim, torna-se possível compreender como é que o tempo é distribuído ao longo do dia e quais as tarefas que os técnicos realizam. Deste modo, o objetivo é perceber a sua finalidade, distinguir os

diferentes processos que são realizados e identificar potenciais oportunidades de melhoria. Esta técnica insere-se no princípio *Genchi Genbutsu* (apresentado anteriormente no estado da arte), que realça a importância da observação empírica na primeira pessoa.

Neste sentido, para compreender realmente a situação inicial da equipa, é necessário ir para o terreno, uma vez que é onde as dificuldades surgem, onde os processos se compreendem e onde as oportunidades de melhoria se identificam. Como tal, é imperativo que a operação seja observada no local onde é executada.

Assim, foram acompanhadas várias instalações de uma tecnologia XY-000, com o intuito de perceber a sequência de operações adotadas desde o início até ao final. Um exemplo do resultado de uma observação encontra-se descrito na tabela 3, onde se classificaram as operações como Valor Acrescentado (VA) ou Não Valor Acrescentado (NVA).

Tabela 3 – Exemplo do resultado de uma observação no *Gemba*

Descrição da operação	Classe	Tipo	VA (acumulado)	Muda (acumulado)
Chegada – tratar de assuntos burocráticos	NVA	Espera	00:00	00:21
Montar <i>stand</i> superior	VA	Montagem	00:13	00:21
Procurar ferramentas	NVA	Procura de material	00:13	00:23
Ajustar <i>stand</i> superior	NVA	Retrabalho	00:13	00:31
Ordenar material	NVA	Procura de material	00:13	00:33
<i>Setup</i> material para o 1º <i>stand</i>	NVA	Procura de material	00:13	00:34
Montar <i>stand</i> da máquina	VA	Montagem	00:23	00:34
...
Formação ao cliente	VA	Formação	02:25	03:16

3.2.2 Análise de dados

Após a recolha de toda a informação necessária, iniciou-se o tratamento dos dados. Em primeiro lugar, é importante realçar o tempo de espera que ocorre após a chegada ao local, uma vez que o cliente não está devidamente preparado para a chegada do técnico. É necessário tratar de diversos assuntos burocráticos, tais como autorizações para entrar, equipamentos de segurança (botas e casacos), entre outros, e, sendo assuntos demorados, podiam ter sido antecipados.

Posteriormente, como se encontra apresentado na figura 8, observam-se várias deslocações dos técnicos desde o carro até ao local da instalação, uma vez que não conseguem transportar a máquina e todos os materiais necessários de uma só vez. Isto provoca desde início um atraso em termos da duração da instalação.

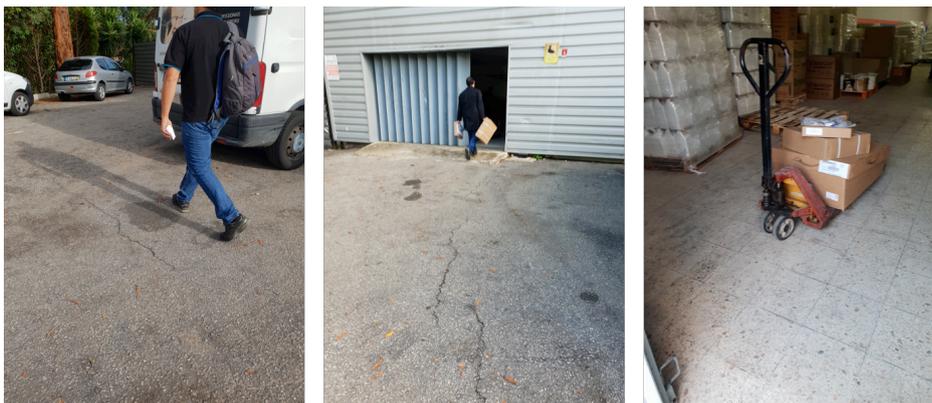


Figura 8 - Exemplos das deslocações dos técnicos

No que diz respeito ao processo de instalação, sublinha-se o elevado tempo alocado à procura de materiais - ou porque a caixa de ferramentas está demasiado longe do operador, ou porque existem muitas caixas sem ordem de procura específica - e, como tal, têm de remexer múltiplas vezes até encontrarem o que realmente procuram. É ainda importante realçar o facto de a zona de trabalho ser pouco ergonómica, o que dificulta a instalação (Figura 9).



Figura 9 - Exemplo da falta de organização do local de trabalho

Adicionalmente, sublinha-se a elevada percentagem do tempo de instalação alocada ao retrabalho, isto é, a fazer operações repetidas, algo que resulta da falta de normalização do processo. Aqui, é importante perceber o porquê de tanto desperdício. A realidade é que nenhuma instalação é realmente *standard*, uma vez que depende muito das condições do cliente, do local e do tipo de linha onde vai ser instalada a máquina, do apoio existente por parte do cliente, entre outros. Por exemplo, numa das instalações que se acompanhou, existiu muito trabalho mecânico, nomeadamente modificação de barras e furação, que foi realizado pela equipa de manutenção do cliente. Contudo, sem ajuda, poderia ter sido um trabalho que iria ocupar grande parte do tempo total da instalação.

É importante sublinhar ainda o facto de existir um mau diagnóstico/levantamento de requisitos *a priori*, por parte da equipa comercial. Concretamente, numa das instalações que se acompanhou, o técnico foi instalar uma máquina em demonstração para substituir uma já existente, uma vez que o cliente precisava de uma área de impressão maior. Contudo, perdeu-se a manhã a substituir a máquina antiga e instalar a nova máquina na linha, sendo que se deixou a parte dos testes para a tarde. No entanto, o que aconteceu foi que não existia informação acerca de um dos requisitos da máquina, o que, após várias horas de teste, resultou na conclusão de que a máquina enviada não correspondia às necessidades do cliente. Assim, teve de se voltar a instalar a máquina antiga, e reagendar uma nova instalação com um equipamento diferente que fosse capaz de imprimir o que o cliente deseja.

Resumidamente, tal como foi apresentado anteriormente no estado da arte, facilmente se identificam os diferentes tipos de desperdício presentes nestas instalações (Gráfico 1):

- Erros que levam a retrabalho – resultado da falta de preparação da instalação;
- Espera de pessoas - resultado da falta de preparação prévia, uma vez que não existiu um alinhamento com o cliente no sentido de otimizar o tempo da instalação e evitar pessoas paradas à espera;
- Transporte de material – resultado das várias deslocações de/para o carro e o facto do local de montagem da máquina não coincidir com o local da instalação, pelo que posteriormente foi necessário transportar a máquina até à linha;
- Sobre processamento – resultou da falta de normalização do processo, sendo que muitas das operações podem ser eliminadas ao otimizar o processo;
- Movimento de pessoas – resultado do trabalho desorganizado, uma vez que uma parte significativa do desperdício foi a procura de material.

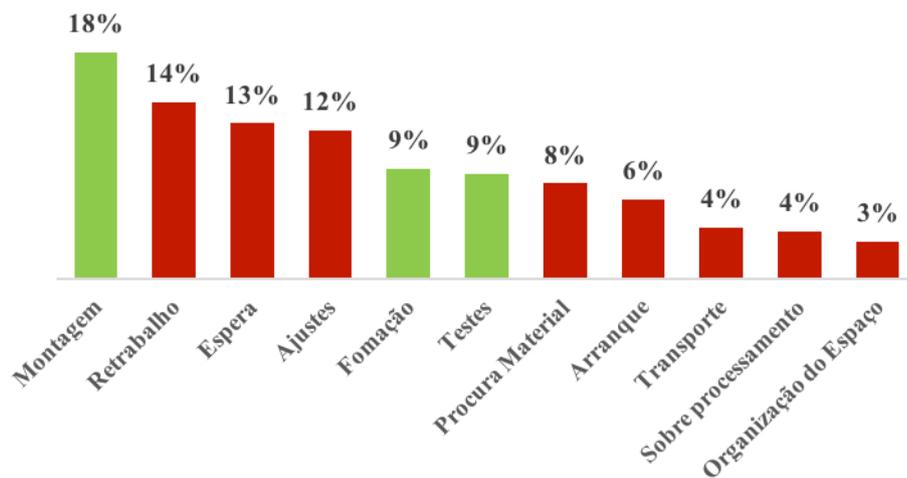


Gráfico 1 - Análise VA vs NVA

Concluindo, constatou-se que, em média, apenas 36% do tempo foi considerado de valor acrescentado – montagem do equipamento, testes no produto e formação ao cliente -, sendo o restante alocado a tarefas pelas quais o cliente não está disposto a pagar. Posto isto, é exatamente por aqui que se deve começar a atacar o processo, de modo a minimizar o desperdício, aumentar a qualidade das instalações, e, desta forma, diminuir o número de *re-installs*.

3.3 O problema das rotas

Numa fase inicial, foram identificadas as principais tarefas da equipa técnica, e posteriormente classificadas em tarefas de valor acrescentado ou tarefas de valor não acrescentado.

Quanto às tarefas que realmente geram valor para a empresa e o cliente está disposto a pagar, destacam-se a instalação dos equipamentos, as reparações fora da garantia e a formação técnica ao cliente, isto é, formar os operadores de modo a torná-los capazes de operar e parametrizar a máquina sozinhos (programar mensagens, ajustar o avanço do texto, aumentar/diminuir velocidade de impressão, entre outros). Neste sentido, o principal foco do

projeto é minimizar o desperdício de modo a aumentar o tempo alocado a tarefas de valor acrescentado.

Por outro lado, foram também identificadas as tarefas consideradas de valor não acrescentado que, embora sendo necessárias, é importante minimizar o tempo que a equipa despende na sua realização:

- Deslocações – tempo despendido nas deslocações dos técnicos;
- Carga administrativa – tempo que a equipa passa a tratar de assuntos burocráticos;
- Preparação de equipamentos usados;
- Preparação de equipamentos – tempo alocado à atualização dos kits de peças, pré-montagem das máquinas e situações inesperadas;
- Reparação dentro da garantia – tempo alocado a uma atividade que não gera valor para a empresa;
- Pré-venda;
- Presença em feiras – tempo de transporte, instalação e recolha dos equipamentos;
- Formação interna;
- Preparação de amostras.

O gráfico 2 apresenta a distribuição temporal das tarefas semanais consideradas como valor não acrescentado.



Gráfico 2 - Distribuição temporal das tarefas semanais (NVA)

Em suma, no total de horas por semana constatou-se que apenas 27% do tempo está alocado a tarefas de valor acrescentado, e 73% é despendido na realização de tarefas consideradas de valor não acrescentado. Contudo, é possível observar que a maior fonte de desperdício se encontra nas deslocações dos técnicos, algo que a otimização de rotas visa colmatar.

4 Desenho de soluções e implementação

4.1 Melhoria do planeamento

4.1.1 Desenho de soluções

Inicialmente, começou-se por diferenciar os clientes de acordo com a sua importância:

- Tipo A: de maior importância, correspondendo a 70% do valor total de vendas;
- Tipo B: com importância intermédia, correspondendo a 20% do valor total de vendas;
- Tipo C: de menor importância, correspondendo a 10% do valor total de vendas.

Neste sentido, é importante o planeamento ser feito de acordo com esta categorização, dando prioridade aos clientes tipo A no que diz respeito ao *lead time* do serviço.

Adicionalmente, é imperativo adquirir uma visão geral da carga e capacidade do departamento técnico, no sentido de agendar de forma eficiente as instalações da semana. Assim, desenvolveu-se um mapa de controlo de encomendas com o intuito de melhorar a visibilidade da chegada dos equipamentos à empresa. O departamento de compras insere no programa a data prevista pelos fornecedores, sendo que tanto o departamento financeiro como o departamento técnico passam a ter acesso a esta informação.

Como referido no capítulo anterior, o processo de pagamento encontra-se dividido em três fases distintas: 30% com a adjudicação, 60% antes da instalação e 10% a prazo (tipicamente a 30 dias) depois da instalação. Neste sentido, com o objetivo de antecipar o pagamento da segunda parcela, semanalmente é enviada uma lista para o departamento financeiro das encomendas com data prevista de chegada nos quinze dias seguintes. Assim, é emitida uma fatura nessa semana de modo a receber o pagamento até à data de chegada do equipamento, e assim agendar a instalação o mais cedo possível, a partir do momento em que o equipamento já se encontra dentro de portas. Deste modo, apesar do pagamento por parte do cliente ser um fator externo e, como tal, não se conseguir controlar diretamente, esta medida foi implementada no sentido de diminuir a variabilidade deste fator e, de certa forma, tentar aumentar o controlo sobre o pagamento.

Posteriormente, começou-se a enviar os equipamentos diretamente para o cliente, de forma a evitar que os técnicos tivessem de passar primeiro na empresa para ir buscar as máquinas. Deste modo, tornou-se possível diminuir desde já os custos de transporte e o tempo das deslocações, sendo que, conseqüentemente, observou-se um aumento do tempo útil disponível para a instalação.

Por último, foi criado um e-mail *standard* para cada tipo de tecnologia, que é enviado ao cliente com o intuito de garantir os requisitos necessários à instalação. Aqui, o cliente é informado acerca da agenda para o dia da instalação, indicando os horários das diferentes macro tarefas, a equipa que é necessário estar disponível (elementos da equipa de manutenção

e operadores definidos para a formação) e ainda realça o tempo necessário de paragem da linha de produção (Anexo A).

Assim, o processo de planeamento foi dividido em quatro grandes fases (Figura 10):

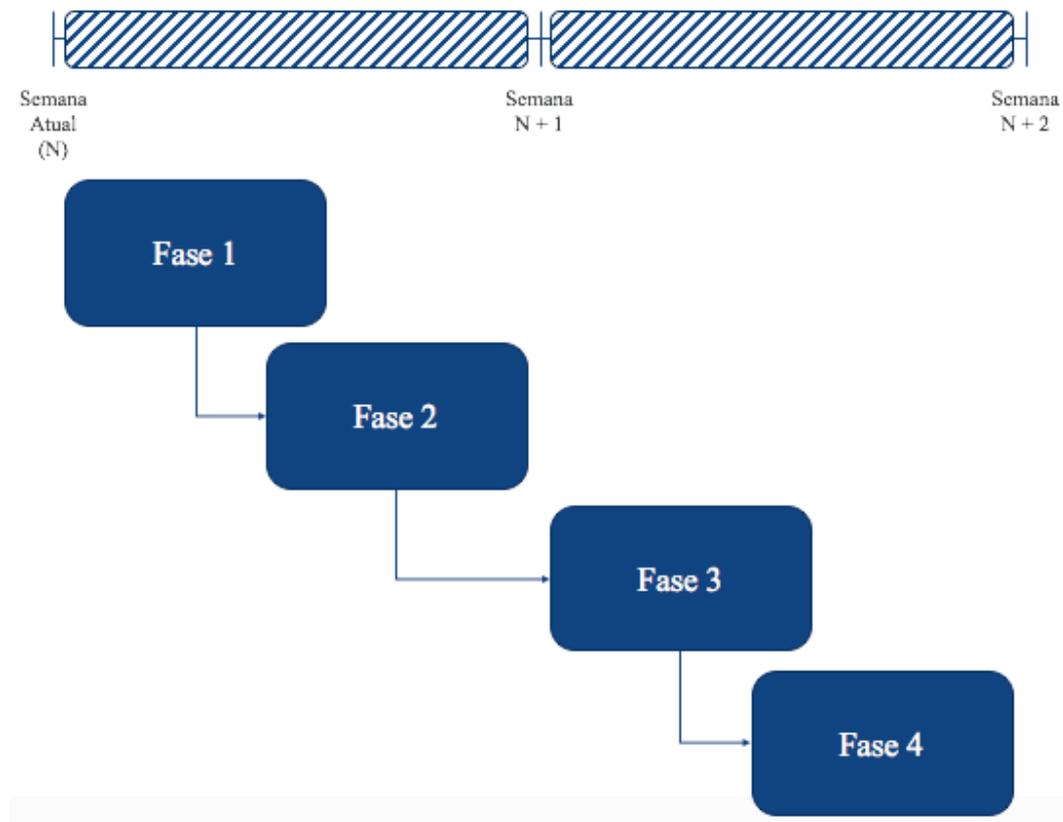


Figura 10 – Processo de planeamento proposto

Fase 1

1. Analisar as encomendas em carteira – fazer o levantamento de todas as encomendas em carteira;
2. Separar as encomendas por área geográfica – identificar a zona geográfica das encomendas e agrupar por distrito;
3. Ordenar por tipologia de cliente.

Fase 2

4. Contactar cliente – verificar a disponibilidade do cliente para o agendamento da instalação;
5. Passar os requisitos necessários ao cliente – enviar e-mail *standard* a informar sobre os requisitos necessários para a instalação;
6. Levantar os requisitos do cliente – verificar a documentação necessária por parte do cliente e pedir a lista dos operadores que irão ter formação;
7. Identificar o ponto de contacto – definir qual o ponto de contacto no cliente para a gestão da instalação (e-mail e telefone).

Fase 3

8. Enviar *Installation Project* (IP) e folha de instalação ao técnico;
9. Controlar os pressupostos da instalação – garantir a disponibilidade do material, retirar guia de transporte e garantir que os requisitos do cliente foram cumpridos.

Fase 4

10. Assegurar transporte e receção no cliente – reservar transportadora caso seja necessário o transporte até ao cliente e agendar entrega com o cliente para que este esteja pronto a recolher e saiba onde colocar;
11. Assegurar disponibilidade do cliente – confirmar novamente que todos os requisitos estão cumpridos e que o cliente tem disponibilidade para receber a instalação nesse dia;
12. Garantir que todo o material está disponível para o técnico, alocar meio de transporte e reservar hotel, caso seja necessário.

4.1.2 Resultados

Com o intuito de acompanhar os resultados, foi implementada uma reunião semanal onde se reveem as instalações efetuadas na semana anterior, as instalações previstas para a semana em questão e ainda se analisam as que estão previstas para a semana seguinte.

No gráfico 3, encontra-se representada a evolução do número de instalações por semana.

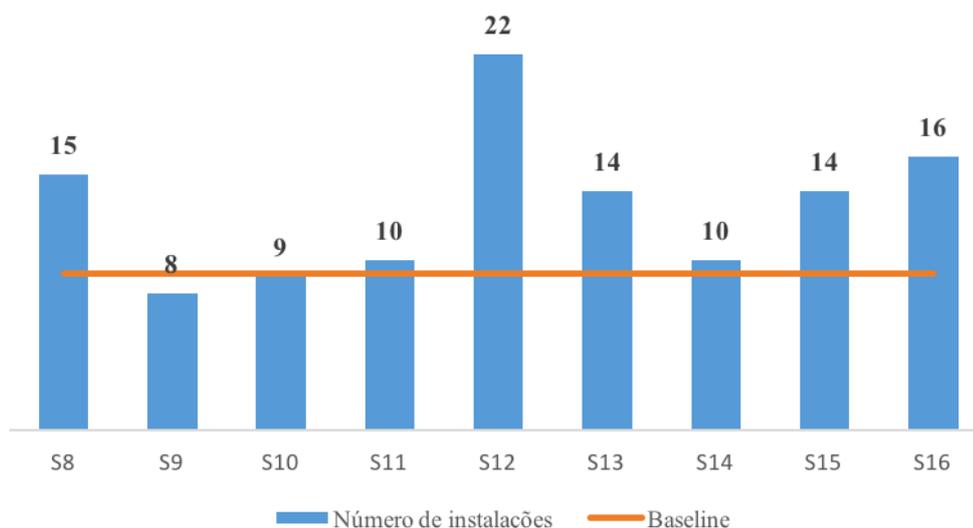


Gráfico 3 - Evolução do número de instalações por semana

O arranque desta nova solução começou bem, traduzindo-se em 15 instalações logo na primeira semana após a implementação. Contudo, é possível observar-se um reduzido número de instalações nas semanas seguintes (semana 9, 10 e 11). Isto aconteceu porque coincidiu com o período da Páscoa e os diferentes feriados em semanas consecutivas, onde tanto os técnicos como a equipa comercial aproveitaram para tirar férias. Assim, com metade da equipa ausente e as vendas a caírem, o planeamento foi agendado de acordo com os elementos disponíveis. No entanto, as encomendas existentes foram acumulando durante este período, o que resultou numa semana de alta produtividade, contando com 22 instalações realizadas (semana 12).

Posteriormente, apesar de as semanas 13, 14 e 15 terem apresentado um aumento considerável face ao *baseline*, sentiu-se alguma dificuldade em conseguir os pagamentos dos clientes atempadamente, nomeadamente clientes grandes que estavam a bloquear algumas encomendas em carteira. Consequentemente, foi necessário escalar este problema para a equipa comercial, com o objetivo de comunicarem diretamente com o cliente e garantirem o pagamento da parcela necessária antes da instalação.

É ainda importante realçar a queda observada na semana 14, que resultou da existência de uma feira, onde foi necessário alocar técnicos da equipa da instalação para a preparação da mesma. Assim, apesar de todos os requisitos para as instalações estarem assegurados, estas tiveram de ser agendadas para a semana seguinte. Por fim, a última semana analisada decorreu de acordo com a normalidade, tendo apresentado um valor bastante positivo.

Em suma, é possível observar-se uma média de 13 instalações por semana, traduzindo-se num aumento de 44% face ao *baseline* (9 instalações por semana), valor que ultrapassa o objetivo inicialmente proposto - aumento de 30%. Esta melhoria traduz o resultado de todas as medidas implementadas neste sentido, sendo que é ainda importante referir que as primeiras semanas não apresentaram resultados tão satisfatórios por motivos externos ao projeto e que não se conseguiram controlar.

4.2 Normalização do trabalho

4.2.1 Desenho e implementação de soluções

Após observação direta no terreno da equipa de instalações, foram identificadas as grandes oportunidades de melhoria e criados os respetivos planos de ação. Neste sentido, começou-se por alocar os técnicos sem carga na semana à empresa, onde receberam formação em tecnologias que não se sentiam tão confortáveis, com o objetivo de aumentar as competências de cada um. É importante referir que, inicialmente, os técnicos sem carga para o dia eram incluídos na equipa de reparações, onde realizavam um trabalho para o qual não tinham as competências necessárias.

Adicionalmente, adotou-se o uso de uma mesa de apoio à instalação, com o intuito de eliminar montagens em cima de paletes ou até mesmo diretamente no chão, melhorando a ergonomia da instalação. Posteriormente, reuniu-se com os técnicos especialistas no sentido de rever e atualizar os *kits* de acessórios de apoio à instalação, para evitar falta de peças no cliente e, conseqüentemente, diminuir o número de *re-installs*.

Contudo, foi também necessário melhorar o levantamento de requisitos por parte da equipa comercial, no sentido de evitar que informações erradas cheguem à equipa técnica. Desta forma, criou-se um email *standard* para a submissão da proposta comercial, onde, para além de anexarem o documento formal da proposta, devem preencher todos os campos pré-definidos com as informações necessárias (Anexo B).

Ainda com o objetivo de promover o espírito de equipa e a partilha de conhecimento, implementaram-se reuniões diárias de 30 minutos (ao final do dia), onde cada técnico resume um pouco o seu dia, indicando o cliente que visitou e a instalação que realizou, e, no final, partilha os aspetos positivos e negativos da instalação.

Por fim, reuniu-se toda a equipa técnica com o intuito de criar um *standard* de instalação, de modo a normalizar o processo. Inicialmente criou-se apenas para um tipo de tecnologia, que iria servir de apoio para o teste piloto, sendo que o objetivo é, depois de testado, desdobrar o processo para todas as outras tecnologias existentes.

O processo de instalação foi assim dividido em quatro grandes fases (Figura 11).

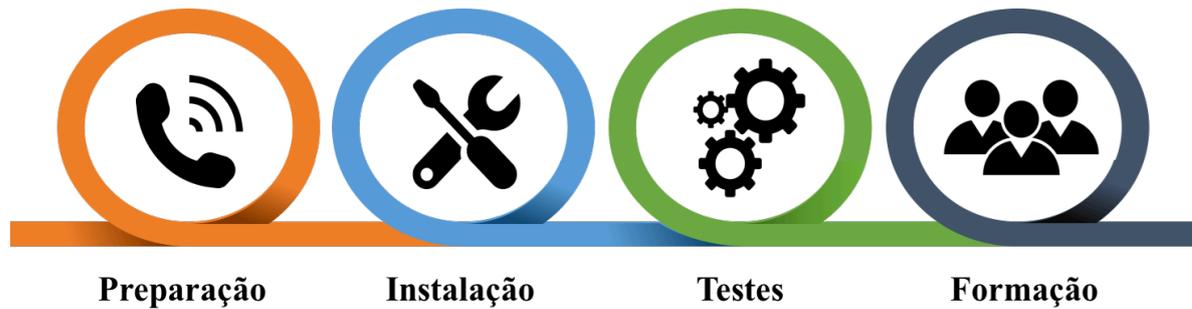


Figura 11 – Fases do *standard* de instalação para a tecnologia XY-000

Preparação

1. *Call ahead* - Ligar ao cliente quando iniciar a deslocação para evitar espera após a chegada, garantido que o cliente está preparado para a chegada do técnico.
2. Alinhar plano de trabalho com o cliente:
 - Confirmar local exato da instalação na linha de produção;
 - Confirmar se a linha pode parar e a que horas;
 - Definir horário dos testes;
 - Confirmar se há produto disponível;
 - Definir quem vai operar a máquina;
 - Definir horário da formação;
 - Confirmar se os requisitos foram cumpridos:
 - ✓ ar comprimido acessível num ponto próximo da máquina;
 - ✓ acesso a tomadas elétricas;
 - ✓ cabo de rede.
3. Preparar o equipamento:
 - Preparar todos os materiais necessários à instalação, de modo a evitar procura de material;
 - Desempacotar/Organizar todas as peças;
 - Garantir que está tudo OK.

Instalação

1. Montar *hardware*:
 - Montar *stand* superior;
 - Montar *stand* inferior;
 - Montar acessórios no equipamento, antes de ligar a máquina.
2. Parametrizar *software*:
 - Verificar a versão do *software*;
 - Ativar os *packs*;
 - Calibrar os sensores de nível;

- Alterar o parâmetro inspeção necessária;
 - Realizar o processo de reiniciar equipamento.
3. Arrancar:
 - Verificar abertura e fecho das válvulas;
 - Verificar bomba principal e bomba secundária;
 - Verificar presença de lixo;
 - Confirmar ciclo de paragem/lavagem do equipamento.
 4. Montar *hardware* - *Door Controls International* (DCI).
 5. Ativar DCI.
 6. Montar codificador no *stand*.

Testes

1. Realizar testes sempre para o pior caso (velocidade máxima com mensagem mais longa e mais complexa).
2. Realizar testes para o número mínimo de produtos que garantem a fiabilidade da solução, sendo que os restantes serão efetuados pelos operadores aquando da formação.
3. Verificar:
 - Garantir que o equipamento consegue acompanhar a cadência da linha;
 - Verificar mesma largura de mensagem em todas as impressões;
 - Verificar erros no equipamento (viscosidade, temperatura, atraso, etc);
 - Verificar sinais de interface com a linha de produção.

Formação

1. Apresentar guia rápido.
2. Rever as regras de higiene e segurança.
3. Arrancar e parar a impressão.
4. Editar e gravar mensagens.
5. Configurar parâmetros dinâmicos (atraso, largura, altura).
6. Analisar os principais alertas.
7. Mudar consumíveis.
8. Limpar área de impressão e manutenção dos filtros.
9. Partilhar práticas da empresa: linha de apoio ao cliente, informação acerca de contratos de manutenção, consumíveis, entre outros.
10. Questionar o cliente sobre possíveis dúvidas.

4.2.2 Teste Piloto

Foram realizados vários testes piloto com o mesmo técnico no sentido de verificar se realmente existiu um aumento da qualidade da instalação (e consequente redução do número de *re-installs*). Neste sentido, acompanhou-se várias instalações de modo a testar o processo *standard* criado (Anexo C), assim como todos os acessórios que se considerou necessários para a instalação. O gráfico 4 representa a média dos resultados obtidos nos diferentes testes piloto realizados.

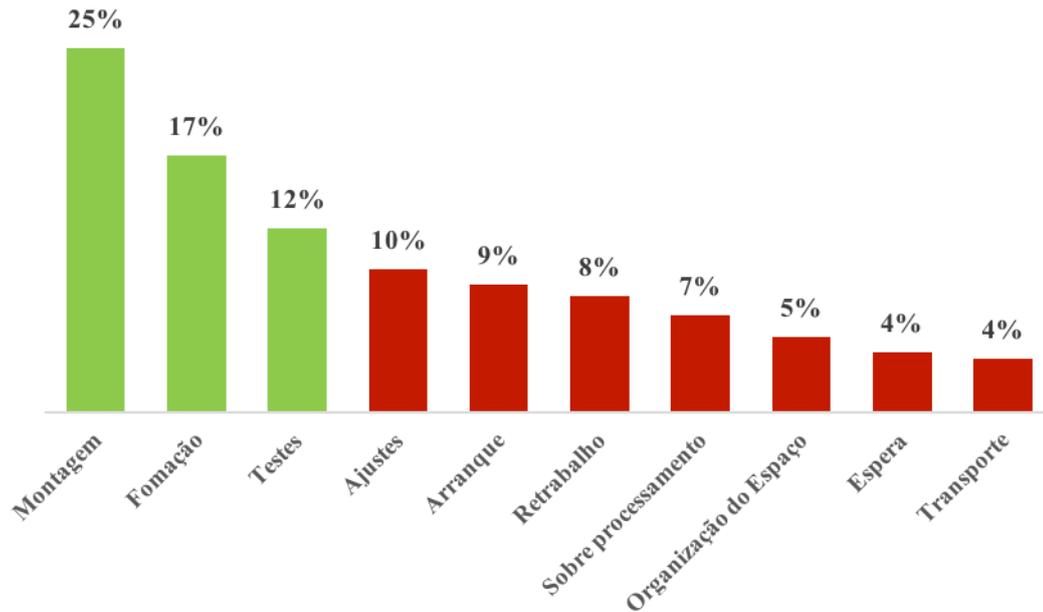


Gráfico 4 – Análise VA vs NVA dos testes piloto

Em primeiro lugar, o tempo de espera inicial foi reduzido drasticamente, uma vez que o cliente era avisado da chegada do técnico e já se encontrava preparado para tal. Da mesma forma, visto que, logo no início do dia, se alinhava o plano de trabalho com o cliente e se definiram desde logo os horários para os testes e formação, este tempo de espera foi também praticamente eliminado. Adicionalmente, também as várias deslocações desde o carro até ao local da instalação deixaram de existir, uma vez que, ao enviar a máquina previamente para o cliente, o técnico passou a ter de transportar apenas a mesa de apoio e a mala de ferramentas.

Em segundo lugar, a qualidade da instalação aumentou visto que o técnico passou a ter todas as condições reunidas para trabalhar de forma eficiente (Figura 12). Neste sentido, o tempo correspondente à procura de material foi eliminado por completo, uma vez que se preparou inicialmente todo o material necessário à instalação.



Figura 12 – Exemplo da utilização da mesa de apoio

Em terceiro lugar, não foi possível eliminar algumas tarefas consideradas de valor não acrescentado, apesar do tempo alocado à sua realização ter sido reduzido, por serem necessárias – ajustes e arranque da máquina.

Por fim, estando todas as fases da instalação bem definidas e descritas no *standard*, esta solução resultou numa redução do retrabalho e sobre processamento face ao que se observou no capítulo anterior, ao estudar a situação inicial.

4.2.3 Resultados

Após implementação das soluções, acompanhou-se a evolução do indicador *First Time Install Rate* (FTIR) ao longo das semanas, o qual apresentou valores muito positivos (Gráfico 5).

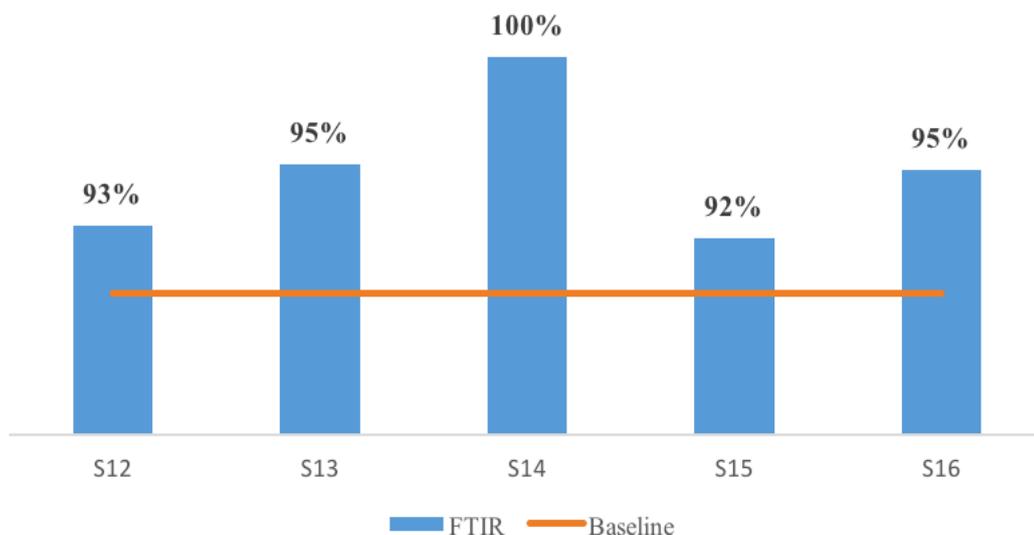


Gráfico 5 - Evolução do indicador FTIR ao longo das semanas

É importante perceber que, embora os técnicos viajem dispersos pelo país, o facto de existir um processo normalizado torna possível reduzir a variabilidade da qualidade das instalações, uma vez que se reduziu a aleatoriedade do processo e se adotou a melhor sequência conhecida até à data. Contudo, é de notar que a qualidade da instalação depende muito de fatores externos e que não se conseguem controlar (condições do cliente, local da instalação, tipo de linha onde vai ser instalada a máquina, do apoio existente por parte do cliente, entre outros) e, como tal, não foi possível eliminar por completo esta variabilidade.

Após a implementação das soluções desenhadas, a aplicação do plano de formação resultou num aumento das capacidades dos técnicos no que diz respeito aos vários tipos de tecnologia. O resultado desta implementação encontra-se explícito na figura 13, onde se observa uma clara evolução da matriz de competências.

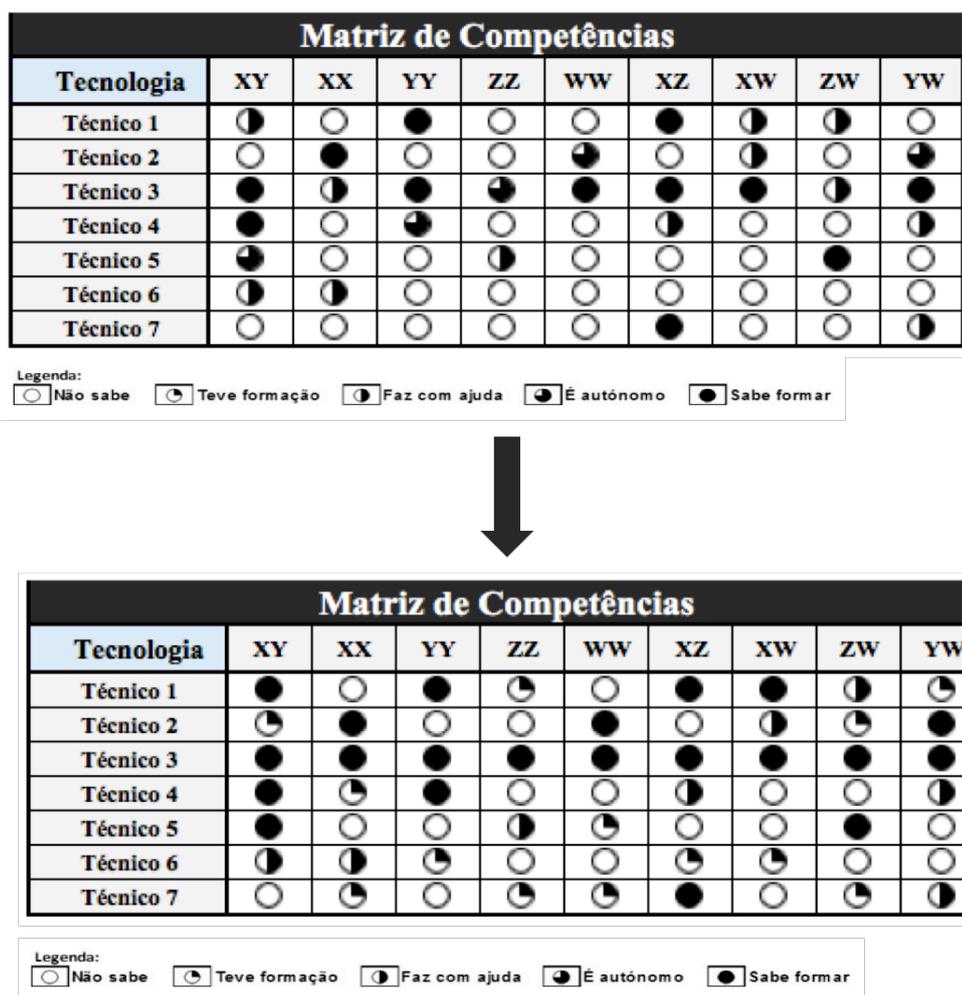


Figura 13 - Evolução da matriz de competências

Considerando que existem 7 técnicos, 9 tecnologias diferentes e 5 níveis de especialização, a pontuação máxima da matriz seria 315 pontos (7*9*5). Neste caso em concreto, existiu um aumento de 87 para 113 pontos, valor que reflete o investimento na formação dos colaboradores.

Resumindo, de um modo geral as soluções implementadas resultaram num aumento do FTIR e, consequentemente, o objetivo proposto no início do projeto foi alcançado – em média este indicador apresentou um valor de 95% no horizonte temporal estudado, o que significa que existiu um aumento de 11% face ao *baseline* (sendo que o objetivo era alcançar uma média de 90%).

4.3 Otimização de rotas

4.3.1 Descrição do modelo

Uma vez implementadas as soluções para a melhoria do planeamento, surgiu a necessidade de otimizar as rotas dos técnicos, uma vez que sendo já conhecido o planeamento da semana, é importante definir a melhor rota a adotar no sentido de minimizar os custos de transporte e o tempo alocado às deslocações.

Assim, assumiu-se que cada técnico só realiza um serviço por dia, pelo que esta otimização será feita com um horizonte temporal de uma semana. É de notar que serviço é tudo aquilo que o técnico tem de fazer num dia, seja uma instalação, reparação, preparação de equipamentos em oficina, *re-repair*, *re-install*, entre outros. Consequentemente, cada serviço está alocado a um único dia.

A equipa técnica é composta por sete técnicos, que realizam um serviço por dia, ou seja, por semana cada técnico poderá realizar no máximo cinco serviços. Deste modo, existem 35 serviços diferentes por semana (7 técnicos * 5 dias por semana), pelo que o objetivo é encontrar o conjunto de rotas possíveis que minimizem o custo total de transporte por semana, tendo em atenção diversas restrições.

Concretamente, é importante sublinhar que cada técnico tem diferentes capacidades, isto é, não tem conhecimento suficiente acerca de todos os tipos de tecnologias, pelo que não se poderá alocar um técnico a um tipo de tecnologia para a qual nunca teve formação. Adicionalmente, é também de notar a restrição referente à disponibilidade, isto é, aquando do planeamento é necessário ter em consideração se todos os técnicos estão disponíveis ou se existe algum elemento da equipa de férias ou de baixa (para estas situações, o serviço será denominado de “Férias” ou “Baixa”). Nestes casos, assume-se que a localização do serviço é a base do técnico e, assim, a distância percorrida e o custo da deslocação são iguais a zero.

Adicionalmente, assumiu-se que o tempo de abertura de um dia de trabalho são 8 horas, pelo que é importante garantir que os tempos de viagem somados ao tempo do serviço não ultrapassam este valor.

Por fim, existe a possibilidade de os técnicos ficarem a dormir no local onde realizaram o serviço, caso o custo de voltar para casa mais o custo de, no dia seguinte, ir para o próximo serviço seja superior ao custo de ficar a dormir nesse local, mais o custo de ir diretamente para o local da próxima instalação (Figura 14).

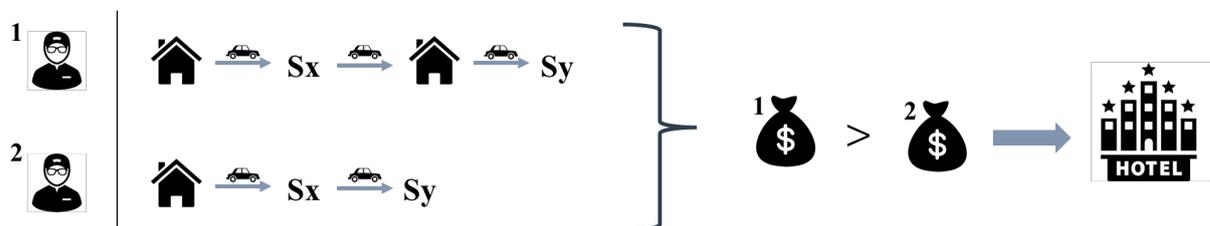


Figura 14 – Representação visual da decisão de ficar a dormir no local do serviço (comparação das opções 1 e 2)

É de notar que se consideraram desprezáveis as deslocações para o hotel sempre que um técnico fica a dormir no local do serviço, pelo que apenas se consideram as distâncias entre serviços e bases de partida.

Neste sentido, em primeiro lugar é necessário introduzir os parâmetros iniciais:

- Serviços planeados para a semana;
- Competências dos técnicos referentes a cada serviço;

- Disponibilidade dos técnicos para a realização de cada serviço;
- Duração estimada de cada serviço;
- Preço médio de dormida no local de cada serviço.

Posteriormente, tendo as moradas de cada cliente associado ao serviço e das bases de cada técnico, são obtidas as respetivas coordenadas geográficas e calculada uma matriz de distâncias e uma matriz de tempos, recorrendo a uma macro em *Excel* (Anexo D).

Em suma, depois de introduzidos todos os dados necessários para a formulação do problema, o objetivo é alocar os técnicos ao conjunto de rotas possíveis de modo a minimizar o custo total de transporte e de dormida, garantindo sempre que todas as restrições são cumpridas.

4.3.2 Modelo matemático

Nesta secção, é apresentado o modelo matemático construído no sentido de resolver o problema descrito anteriormente. Este problema é uma variante do TRSP apresentado no capítulo 2, e vai além do problema básico ao integrar a possibilidade de dormidas nos locais dos serviços realizados. Desta forma, o objetivo é minimizar o custo total de transporte (considerando custo de viagem e custo de dormida) e não apenas os quilómetros percorridos.

Em primeiro lugar, foram definidos os parâmetros do modelo, seguidos pelas variáveis de decisão.

Parâmetros

- $I = \{1, \dots, 7\}$: conjunto de técnicos;
- $S = \{1, \dots, 35\}$: conjunto de serviços da semana;
- $D_1 = \{1, \dots, 7\}$: conjunto de serviços do primeiro dia da semana;
- $D_2 = \{8, \dots, 14\}$: conjunto de serviços do segundo dia da semana;
- $D_3 = \{15, \dots, 21\}$: conjunto de serviços do terceiro dia da semana;
- $D_4 = \{22, \dots, 28\}$: conjunto de serviços do quarto dia da semana;
- $D_5 = \{29, \dots, 35\}$: conjunto de serviços do quinto dia da semana;
- V_{jk} = distância entre o serviço j e o serviço k (em quilómetros);
- T_{jk} = tempo de viagem entre o serviço j e o serviço k (em horas);
- F_{ij} = distância entre a base do técnico i e o serviço j (em quilómetros);
- B_{ij} = tempo de viagem entre a base do técnico i e o serviço j (em horas);
- Do_j = custo da dormida no local do serviço j (em euros);
- w_j = duração do serviço j (em horas);

- $C_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{se o técnico } i \text{ não tem competências para realizar o serviço } j \\ 1 & \text{se o técnico } i \text{ tem competências para realizar o serviço } j \end{cases}$
- $A_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{se o técnico } i \text{ não está disponível para realizar o serviço } j \\ 1 & \text{se o técnico } i \text{ está disponível para realizar o serviço } j \end{cases}$

Variáveis de decisão

- $x_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{se o técnico } i \text{ não realiza o serviço } j \\ 1 & \text{se o técnico } i \text{ realiza o serviço } j \end{cases}$
- $s_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{se o técnico } i \text{ não dorme no local do serviço } j \\ 1 & \text{se o técnico } i \text{ dorme no local do serviço } j \end{cases}$
- $Y_{ijk} = \begin{cases} 0 & \text{se o técnico } i \text{ não realiza o arco desde o serviço } j \text{ até ao serviço } k \\ 1 & \text{se o técnico } i \text{ realiza o arco desde o serviço } j \text{ até ao serviço } k \end{cases}$
- $Y_{ioj} = \begin{cases} 0 & \text{se o técnico } i \text{ não realiza o arco desde a sua base até ao serviço } j \\ 1 & \text{se o técnico } i \text{ realiza o arco desde a sua base até ao serviço } j \end{cases}$
- $Y_{ijo} = \begin{cases} 0 & \text{se o técnico } i \text{ não realiza o arco desde o serviço } j \text{ até à sua base} \\ 1 & \text{se o técnico } i \text{ realiza o arco desde o serviço } j \text{ até à sua base} \end{cases}$

Modelo

Função objetivo

$$\min \left[\sum_{i \in I} \sum_{j \in S} \sum_{k \in S} Y_{ijk} * V_{jk} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in S} Y_{ioj} * F_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in S} Y_{ijo} * F_{ij} \right] * 0,36 + \sum_{i \in I} \sum_{j \in S} s_{ij} * D_{oj} \quad (4.1)$$

Restrições

$$\sum_{j \in D_i} x_{ij} = 1, \forall i \in I, \forall t \in \{1,2,3,4,5\} \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^7 x_{ij} = 1, \forall j \in S \quad (4.3)$$

$$s_{ij} = 0, \forall i \in I, \forall j \in D_s \quad (4.4)$$

$$x_{ij} = Y_{ijo}, \forall i \in I, \forall j \in D_s \quad (4.5)$$

$$x_{ij} = Y_{i0j} , \forall i \in I , \forall j \in D_1 \quad (4.6)$$

$$x_{ij} = Y_{ij0} + s_{ij} , \forall i \in I , \forall j \in \{D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup D_4\} \quad (4.7)$$

$$x_{ij} = \sum_{k \in D_{t+1}} Y_{ikj} + Y_{i0j} , \forall i \in I , \forall j \in D_t , \forall t \in \{2,3,4,5\} \quad (4.8)$$

$$s_{ij} = \sum_{k \in D_{t+1}} Y_{ijk} , \forall i \in I , \forall j \in D_t , \forall t \in \{1,2,3,4\} \quad (4.9)$$

$$\sum_{j \in D_1} w_j * x_{ij} + \sum_{j \in D_1} Y_{i0j} * B_{ij} + \sum_{j \in D_1} Y_{ij0} * B_{ij} \leq 8 , \forall i \in I \quad (4.10)$$

$$\sum_{j \in D_t} w_j * x_{ij} + \sum_{k \in D_{t+1}} \sum_{j \in D_t} Y_{ikj} * T_{kj} + \sum_{j \in D_t} Y_{ij0} * B_{ij} + \sum_{j \in D_t} Y_{i0j} * B_{ij} \leq 8 , \forall i \in I , \forall t \in \{2,3,4,5\} \quad (4.11)$$

$$x_{ij} \leq C_{ij} , \forall i \in I , \forall j \in S \quad (4.12)$$

$$x_{ij} \leq A_{ij} , \forall i \in I , \forall j \in S \quad (4.13)$$

$$x_{ij} \geq s_{ij} , \forall i \in I , \forall j \in S \quad (4.14)$$

$$w_j, T_{jk}, V_{jk}, B_{ij}, F_{ij}, D_{0j} \geq 0 , \forall i \in I , \forall j \in S , \forall k \in S \quad (4.15)$$

$$x_{ij}, s_{ij}, Y_{ijk}, Y_{ij0}, Y_{i0j}, C_{ij}, A_{ij} \text{ são variáveis binárias} \quad (4.16)$$

O objetivo relativamente à função (4.1) é minimizar o custo total das deslocações mais as estadias em hotéis (caso fique a dormir no local do serviço que realizou), por técnico e por semana. Neste caso, a empresa paga 0,36 cêntimos por quilómetro, pelo que se utilizou este valor para converter o custo da distância em euros.

O conjunto de restrições (4.2) garante que cada técnico não realiza mais do que um serviço por dia. Por outro lado, as restrições (4.3) asseguram que cada serviço apenas é efetuado por um único técnico. Assim, no seu conjunto, as restrições (4.2) e (4.3) garantem que cada serviço é realizado num único dia, por um único técnico.

As restrições (4.4) representam o facto de todos os técnicos voltarem a casa no final da semana; logo não é possível ficar a dormir no local do último serviço. Seguindo o mesmo raciocínio, as restrições (4.5) garantem que, no último dia da semana, se um serviço j (com j pertencente a D_5) é efetuado, então é imperativo que exista uma deslocação desde o local do serviço j até à base do técnico i.

Do mesmo modo, as restrições (4.6) significam que, para qualquer serviço pertencente ao primeiro dia, se o serviço j foi realizado pelo técnico i, então existiu uma deslocação desde a

base do técnico i até ao local do serviço j , uma vez que se assume que toda a equipa parte das bases no início da semana.

As restrições (4.7) garantem que, se um serviço j é satisfeito no dia 1, 2, 3 ou 4, então no final do dia o técnico i ou volta para casa, efetuando uma deslocação desde o local do serviço j até à sua base, ou fica lá a dormir.

Por sua vez, as restrições (4.8) significam que, se um serviço j foi realizado pelo técnico i , então ou existiu uma deslocação desde a base desse técnico em específico, ou, caso tenha ficado a dormir no local do serviço do dia anterior, ocorreu uma deslocação desde esse local até ao local do serviço j .

As restrições (4.9) asseguram que, se o técnico i ficou a dormir no local do serviço j , então no dia seguinte o técnico tem obrigatoriamente que se deslocar do local do serviço j até ao local do serviço alocado para o dia seguinte, não havendo a possibilidade de partir da sua base.

No que diz respeito à janela temporal associada ao tempo de trabalho dos técnicos, as restrições (4.10) e (4.11) garantem que os tempos de viagem mais o tempo do serviço não ultrapassam as 8 horas de trabalho diárias.

Por sua vez, as restrições (4.12) e (4.13) garantem que um serviço j só é realizado pelo técnico i , se o técnico tiver capacidades para realizar esse mesmo serviço e estiver disponível nesse dia, respetivamente.

As restrições (4.14) traduzem o facto de só ser possível o técnico i ficar a dormir no local do serviço j , se esse mesmo técnico tiver realizado o serviço em questão.

Por último, as restrições (4.15) garantem que todas as variáveis tomam um valor igual ou superior a zero (não-negatividade), e as restrições (4.16) indicam que as variáveis em causa apenas podem tomar valores iguais a 0 ou 1 (variáveis binárias).

4.3.3 *OpenSolver - COIN Branch-and-Cut Solver*

O modelo aqui apresentado foi resolvido utilizando o *OpenSolver* disponível para *Excel*, com base no algoritmo *Branch-and-Cut* (B&C). De acordo com Mitchell (1999), este algoritmo consiste num método de otimização combinatória para resolver problemas lineares inteiros, isto é, problemas de programação linear em que algumas ou todas as incógnitas são restritas a valores inteiros, sendo utilizado tipicamente em problemas de grandes dimensões. Consiste, essencialmente, na junção de dois métodos de otimização: *Branch-and-Bound* e *Cutting-Plane method*.

Desta forma, quando o número de restrições lineares é elevado ou quando o relaxamento linear é reforçado pela adição de algumas famílias de desigualdades válidas, que normalmente têm tamanho exponencial, o sistema de restrições não pode ser alimentado por um *solver* de programação linear e deve ser utilizada uma técnica de plano de corte para resolver o problema (Toth e Vigo, 2012).

A figura 15 representa visualmente um exemplo da evolução do método descrito na resolução do problema.

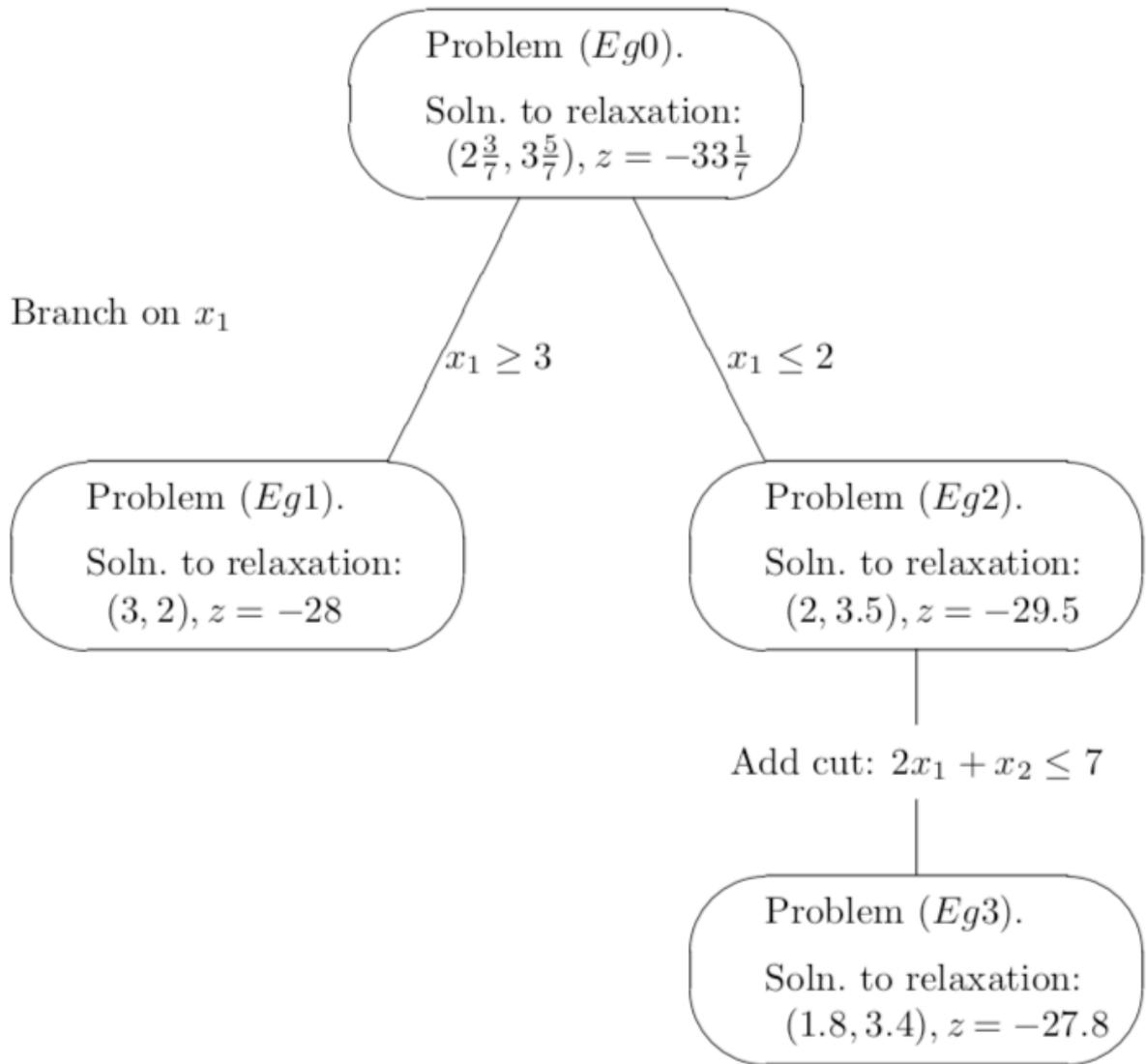


Figura 15 - Exemplo da evolução do método de *Branch-and-Cut* na resolução de um problema

Fonte: (Mitchell, 1999)

4.3.4 Implementação da solução

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos recorrendo ao *OpenSolver – COIN Branch-and-Cut Solver*. Para tal, foi utilizado um processador 2,4 GHz *Intel Core 2 Duo*, e são necessários aproximadamente quatro minutos para correr o programa.

Este modelo foi implementado nas duas últimas semanas do projeto, onde foram realizados os testes piloto em conjunto com o responsável pelo planeamento, sendo que os valores aqui apresentados correspondem à comparação entre o que realmente aconteceu (situação real) e a solução proposta com base no modelo desenvolvido.

Situação real (semana 15)

Na prática, a pessoa responsável pelo planeamento atribuiu os serviços a cada um dos técnicos, sendo que ao mesmo tempo decidiu quem ficaria a dormir num determinado local e quando. No entanto, não existiu qualquer tipo de otimização, sendo que estas decisões foram tomadas empiricamente. A título de exemplo, na figura 15 encontram-se representadas visualmente as rotas semanais dos diferentes técnicos, desde as respetivas bases até aos

serviços alocados. Relativamente à semana 16, o planeamento realizado encontra-se representado na figura 22 do anexo E.



Figura 16 – Rotas semanais realizadas pelos técnicos (semana 15)

Solução com base no modelo (semana 15)

Por outro lado, o modelo desenvolvido apresenta uma configuração diferente. Aqui, a solução resulta do facto de se pretender minimizar o custo total das deslocações semanais e dos custos associados às estadias em hotéis, tendo em atenção as diversas restrições.

A solução proposta encontra-se visualmente descrita na figura 17. No que diz respeito à semana 16, a solução obtida encontra-se apresentada na figura 23 do anexo E.



Figura 17 – Rotas semanais dos técnicos propostas pelo modelo (semana 15)

Resultados

O objetivo inicial deste projeto era diminuir em 20% os custos totais de transporte e, por consequência, minimizar a distância percorrida e o tempo alocado às deslocações dos técnicos. Neste sentido, foi realizada uma análise comparativa da solução otimizada com base no modelo desenvolvido e a situação real definida pelo responsável do planeamento, para as semanas 15 e 16.

Na tabela 4 encontram-se apresentados os resultados desta comparação.

Tabela 4 – Análise comparativa dos resultados obtidos (semana 15)

	Situação real	Solução do modelo	% Melhoria
Km percorridos (km)	6209	4442	28%
Tempo (h)	74	55	26%
Custo Total Km + Dormidas (€)	2375	1876	21%

Tabela 5 - Análise comparativa dos resultados obtidos (semana 16)

	Situação real	Solução do modelo	% Melhoria
Km percorridos (km)	7545	5565	26%
Tempo (h)	90	74	18%
Custo Total Km + Dormidas (€)	2716	2195	19%

É importante notar que o facto de existir uma diminuição de 26% nos quilómetros percorridos levou a uma melhoria de 19% no custo total de transporte (semana 16) uma vez que, ao minimizar a distância, foi necessário ficar a dormir em determinados locais, e, portanto, é imperativo ter em consideração o custo adicional de dormida (o mesmo se aplica aos resultados obtidos na semana 15).

Desta forma, o facto de, inicialmente, ter existido uma atribuição de serviços aos técnicos sem qualquer tipo de otimização fez com que, em ambas as semanas, a situação real apresentasse um custo mais alto face à solução proposta pelo modelo. Concretamente, caso o conjunto de rotas otimizadas definidas para cada técnico tivesse sido implementada, esta solução resultaria numa poupança tanto a nível monetário (custo total das deslocações e dormidas) como a nível de tempo. De facto, tal como foi identificado no capítulo três, uma das tarefas consideradas como valor não acrescentado que ocupa mais tempo aos técnicos eram precisamente as deslocações. Deste modo, o modelo aqui apresentado visa não só diminuir os custos para a empresa como também colmatar este desperdício.

A figura 18 representa visualmente a distribuição das rotas dos técnicos ao longo do mapa, sendo que cada cor identifica o técnico correspondente.

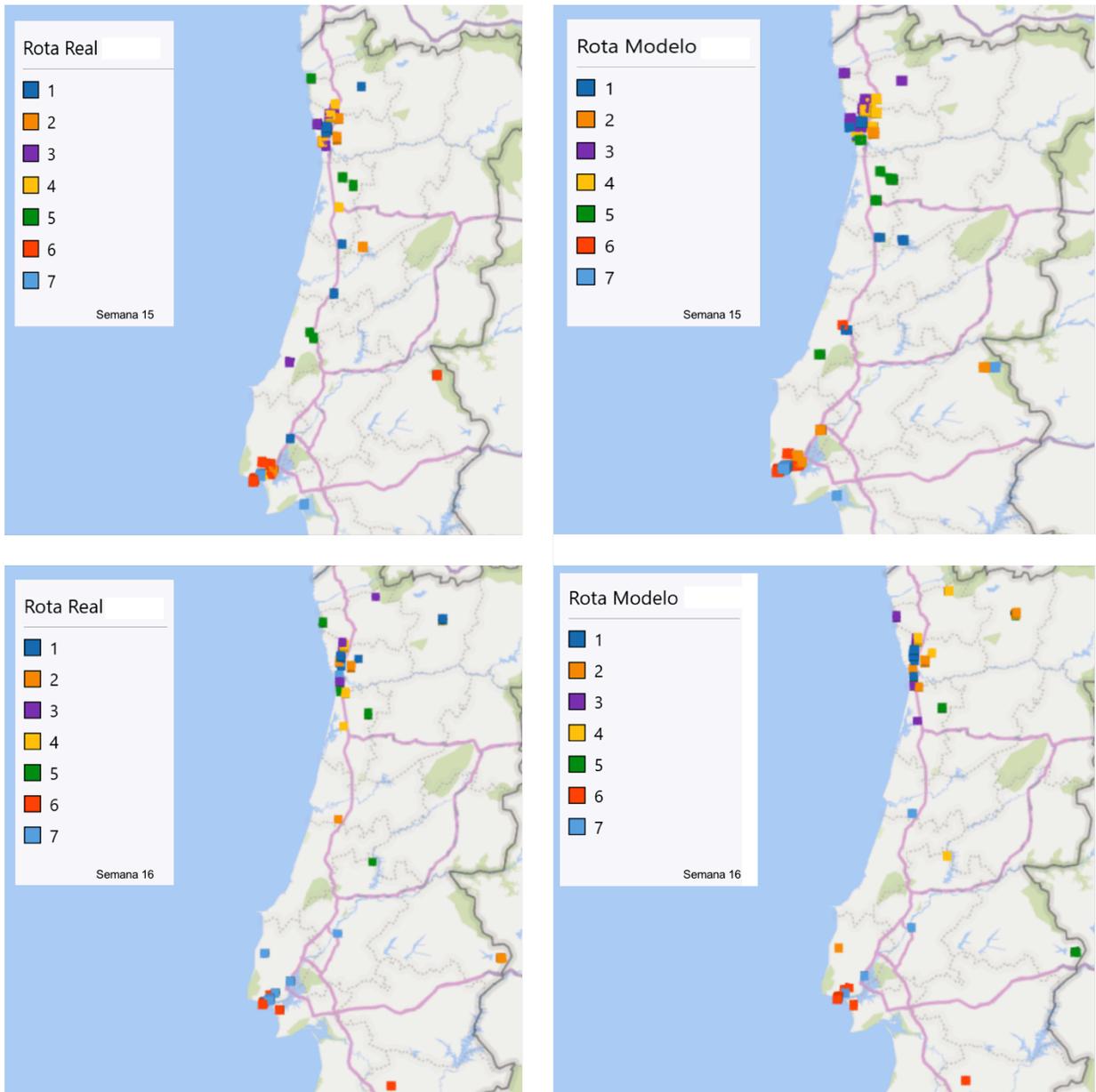


Figura 18 - Comparação visual entre a rota real e a solução proposta pelo modelo (semanas 15 e 16)

Em suma, ficou provado o benefício que o modelo desenvolvido é capaz de gerar para a empresa, sendo que em apenas duas semanas foi possível observar-se uma melhoria média de 20% face à situação real, alcançando assim o objetivo proposto inicialmente.

5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

O projeto desenvolvido ao longo dos últimos quatro meses teve como grande foco três áreas diferentes: melhoria do planeamento, normalização do trabalho e otimização de rotas. De um modo geral, apesar do sucesso do projeto, o que realmente definiu os resultados das iniciativas de melhoria foi o envolvimento de toda a equipa e o forte acompanhamento por parte do Instituto *Kaizen* nas fases de implementação das soluções. Contudo, é importante sublinhar algumas conclusões retiradas ao longo deste trabalho.

No que diz respeito ao planeamento, apesar do horizonte temporal ter sido alargado, sentiu-se ainda uma grande dificuldade em garantir o pagamento dos clientes em tempo útil. Mesmo começando a insistir com antecedência, em muitos dos casos o departamento financeiro não foi capaz de resolver o problema sem recorrer à equipa comercial, e, deste modo, o departamento técnico não podia proceder ao agendamento das instalações.

Por outro lado, notou-se também alguma ineficiência por parte do departamento de compras, uma vez que muitas das encomendas em carteira não podiam avançar para a instalação por falta de material. Contudo, na prática, o que realmente se verificava era que os equipamentos até estavam em *stock* - o problema era que a pessoa responsável por dar o “OK” para avançar tinha tantos assuntos pendentes que demorava a conseguir dar resposta a todos, deixando a pessoa responsável pelo planeamento bloqueada até que todas as condições para o agendamento das instalações estivessem reunidas.

No futuro, é importante implementar uma revisão semanal das encomendas em carteira, no sentido de perceber o porquê da impossibilidade de avançar com o processo e, assim, comunicar aos respetivos responsáveis no sentido de dar seguimento às instalações. Desta forma, torna-se possível incutir a consciencialização de todos os intervenientes para a importância deste acompanhamento e, assim, garantir que o responsável pelo planeamento tenha todas as condições reunidas para avançar com as instalações.

Relativamente à normalização do trabalho, foi aplicada uma metodologia num contexto completamente diferente do normal. Tipicamente, o *standard work* é implementado em empresas industriais com linhas de produção, onde existe um processo repetitivo dos colaboradores e, desta forma, adota-se o melhor método de fabrico conhecido até à data. Contudo, aqui o panorama é diferente: as instalações não se podem considerar um processo repetitivo, uma vez que dependem de diversos fatores externos e que não se conseguem controlar, como as condições do cliente, o local e o tipo de linha onde vai ser instalada a máquina, o apoio existente por parte do cliente, entre outros. Para além disso, os técnicos andam sozinhos, dispersos pelo país, pelo que a monitorização e controlo da implementação desta solução torna-se um processo bastante complicado.

No entanto, destaca-se o comprometimento por parte da equipa técnica na adoção desta metodologia. Tanto nos planos de formação como na formulação do *standard* criado, observou-se uma forte iniciativa por parte dos técnicos. Desta forma, tornou-se evidente que a cultura e dedicação dos líderes define o sucesso ou insucesso das soluções de melhoria e,

consequentemente, os resultados obtidos. De facto, o que à primeira vista parecia algo impossível, tornou-se num projeto de sucesso e aumentou o envolvimento da equipa.

Adicionalmente, o facto de terem sido introduzidas reuniões diárias, com o responsável pela equipa de instalações a liderar, promoveu o espírito de equipa e partilha de conhecimento, que resultou numa motivação acrescida da equipa no sentido de se superarem uns aos outros cada vez mais. De facto, criou-se um ambiente competitivo saudável entre a equipa, onde cada técnico se esforça todos os dias para alcançar melhores resultados que os colegas.

Quanto às perspetivas de trabalho futuro, uma vez provado o potencial desta metodologia, destaca-se o desdobramento do *standard* criado para as restantes tecnologias. Para além disso, espera-se que a cultura de melhoria instalada seja sustentada e consolidada com o tempo, e que, a longo prazo, melhores resultados sejam obtidos.

Por fim, o modelo de otimização de rotas desenvolvido para o projeto revelou-se uma ferramenta de grande importância para o sucesso da empresa. De facto, um dos grandes problemas vividos inicialmente era o tempo semanal gasto pelos técnicos em deslocações, resultante da falta de visibilidade no planeamento e das rotas não otimizadas. Neste sentido, o projeto visa colmatar estes desperdícios e melhorar, desta forma, a eficiência operacional da empresa, ao mesmo tempo que os custos totais são minimizados.

É interessante referir que uma particularidade deste problema é o facto de ser uma situação dinâmica resolvida com base num modelo estático.

No futuro, o objetivo passa por implementar este modelo no processo do planeamento, sendo que os serviços da semana deixam de ser planeados com atribuição direta aos técnicos. Em vez disso, a alocação dos serviços à equipa passa a ser um processo integrado na solução de otimização. Esta mudança de paradigma reflete, mais uma vez, as potencialidades da implementação do projeto de melhoria contínua desenvolvido.

Referências

- Berkey, J O, e P Y Wang. 1987. “Two-Dimensional Finite Bin-Packing Algorithms.” *Journal of the Operational Research Society* 38 (5): 423-429.
- Blakeley, F. , Arguello, B. , Cao, B. , Hall, W. , & Knolmayer, J. 2003. “Optimizing periodic maintenance operations for Schindler elevator corporation.” (Interfaces) 33: 67–79 .
- Borja. 2017. *Operational excellence: Genchi Genbutsu and the Circle of Ohno - Go and see for yourself.*
- Bostel, N., P. Dejax, P. Guez, e F. Tricoire. 2008. “Multiperiod planning and routing on a rolling horizon for field force optimization logistics.” Em *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*, de B. Golden, S. Raghavan e E. Wasil, 503-525. New York: Springer.
- LIB (Lean Institute Brasil) Acedido em 14 de Abril de 2019. <https://www.lean.org.br/conceitos/78/muda,-mura,-muri---tipos-atividades-que-geram-desperdicios.aspx>.
- Clarke, G., & Wright, J. W. 1964. “Scheduling of vehicles form a central depot to a number of delivery points.” (Operations Research) 12: 568–581.
- Coimbra, Euclides. 2013. *Kaizen in Logistics and Supply Chains*. 1. McGraw-Hill Education.
- Crevier, B., Cordeau, J. F., & Laporte, G. 2007. “The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes.” (European Journal of Operational Research) 756–773.
- Dantzig, G. and Ramser, J. 1959. “The Truck Dispatching Problem.” (Management Science) 6: 80-91.
- G, Hasle, e Kloster O. 2007. “Geometric modelling, numerical simulation and optimization.” Em *Operations Research Computer Science Interfaces*, 397-436. Springer.
- Hammer, M, J Champy, e R, L Tathan. 1993. “Reengineering the Corportaion: A Manifesto for Business Revolution.” (Harper Collins).
- Hasle G, Kloster O. s.d. “Geometric modelling, numerical simulation, and optimization.” *Operations Research Computer Science Interfaces* (Springer) 397–436.
- Ho, William, George T. S. Ho, Ping Ji, e Henry C.W. Lau. 2008. “A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem.” (Engineering Applications of Artificial Intelligence) 21: 548-557.
- Imai, Massaki. 1996. *Gemba Kaizen: Estratégias e técnicas do Kaizen no piso da fábrica.*
- Jairo R. Montoya-Torres, Julián López Franco, Santiago Nieto Isaza, Heriberto Felizzola Jiménez, Nilson Herazo-Padilla. 2015. “A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots.” (Computers & Industrial Engineering) 115–129.
- Johnson, Corinne N. 2002. “The Benefits of PDCA - Use this cycle for continual process improvement.” *Back to Basis* (editorial assistant) 120.

- Kaizen. 2019a. "Team Meetings".
- Kaizen. 2019b. "Visual Management".
- Kaizen. 2019c. "Standard Work".
- Mirabi, M., Fatemi Ghomi, S. M. T., & Jolai, F. 2010. "Efficient stochastic hybrid heuristics for the multi-depot vehicle routing problem." (*Robotics and Computer- Integrated Manufacturing*) 26: 564–569.
- Mitchell, John E. 1999. "Branch-and-Cut Algorithms for Combinatorial Optimization Problems." *Rensselaer Polytechnic Institute*.
- Ohno, Taichi. 1988. *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.
- Ombuki, B, B J Ross, e F Hanshar. 2004. "Multi-Objective Genetic Algorithms for Vehicle Routing Problem with Time Windows."
- Pereira, F. B, J Tavares, P Machado, e E Costa. 2002. "GVR: a New Genetic Representation for the Vehicle Routing Problem." Editado por Berlin, Heidelberg Springer. Springer.
- Rochat, Y., e ED Taillard. 1995. "Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing." *Journal of Heuristics* 1: 147-167.
- Solomon, M. 1987. "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints." (*Operations Research*) 35: 254-265.
- Teian, K. 1992. "Guiding Continuous Improvement Through Employees Sugestions." (Productivity Press).
- Toth Paolo, Vigo Daniele. 2002. "The vehicle routing problem." (Monographs on discrete mathematics and applications, SIAM).
- Tricoire, F., N. Bostel, P. Dejax, e P. Guez. 2013. "Exact and hybrid methods for the multiperiod field service routing problem." *Central European Journal of Operations Research* 21: 359-377.
- Tsang, E., e C. Voudouris. 1997. "Fast local search and guided local search and their application to British Telecom's workforce scheduling problem." (*Oper Res Lett*) 119-127.
- Xu, J., e SY. Chiu. 2001. "Effective heuristic procedures for a field technician scheduling problem. J Heuristics." (*J Heuristics*) 495-509.

ANEXO A: E-mail *standard* para enviar ao cliente

Caro Eng.º _____

Desde já agradecemos a adjudicação do equipamento _____.

No seguimento da nossa conversa telefónica, a data acordada para a instalação do codificador XY _____ será dia _____ e será realizada pelo técnico _____.

Para que a instalação decorra conforme planeado necessitamos que sejam garantidos os seguintes pontos junto ao local de instalação:

Descrição	Quantidade
Ponto de alimentação monofásico 230v com ligação à terra	1 por máquina
Paragem da linha de produção	2 horas por máquina (mínimo)
Operadores para receberem formação sobre o equipamento	Mínimo: 1 pessoa Máximo: 6 pessoas
Ponto de rede de Internet	1 por máquina
Ponto de ar comprimido	1 por máquina

O plano para esta instalação é:

Horário	Atividade	Equipa Necessária	Necessidade de linha Parada	Observações
09:00 – 13:00	Instalação do Hardware	-	Sim	
	Efetuar ligações elétricas	Elemento(s) da Manutenção	Sim	
	Testes e afinações	Elemento(s) da Manutenção	Não	
14:00 – 17:30	Formação	Colaboradores identificados para receber formação	Não	O horário da formação será definido pelo técnico no início do dia, após avaliação das condições de instalação e disponibilidade da linha.

No caso de ter alguma dúvida, não hesite em contactar-me.

ANEXO B: Email *standard* a preencher pela equipa comercial

Tabela 6 - Lista de requisitos necessários a introduzir pela equipa comercial

Items	A preencher	O que significa:
Produtos		Retificar os produtos vendidos e o valor pelo qual foi fechado o negócio
Condições de Pagamento		Indicar as condições de pagamento acordadas com o cliente (condições especiais anexar e-mail com autorização superior)
Ofertas (Descrever as ofertas feitas ao cliente)		Acessórios: Consumíveis: Instalação:
Retomas		Indicar Equipamentos e Valores (se o cliente exigir nota de crédito, em vez do desconto na proposta, informar o dep. financeiro)
Preços Especiais		Descrever se foi acordado algum preço especial de peças (cabeças térmicas, consumíveis, etc) (preços especiais anexar e-mail com autorização)
Demonstração (Sim/Não)		A máquina vendida encontra-se em demonstração?
Folha de Instalação		Colocar em anexo a folha de instalação com todo o material/ notas necessárias para a mesma. Incluir fotos sempre que existam
Data de Instalação		Se foi acordado alguma data com o cliente indicar qual (se não for preenchido, a data de instalação é definida pelo dep. técnico)
E-mail Agradecimento		Se não for para a pessoa que está na proposta, indicar contatos adicionais (se não for preenchido, por defeito vai para o contato na proposta)

ANEXO C: Norma da instalação para a tecnologia XY-000



Figura 19 - Standard de instalação (XY-000)

ANEXO D: Macros em *Excel* para obter as matrizes de distância e tempo

```
Function G_TIME(Origin As String, Destination As String) As Double
Dim myRequest As XMLHTTP60
Dim myDomDoc As DOMDocument60
Dim distanceNode As IXMLDOMNode
Dim Chave As String
G_TIME = 0

On Error GoTo exitRoute
Origin = Replace(Origin, " ", "%20")
Destination = Replace(Destination, " ", "%20")

Set myRequest = New XMLHTTP60
myRequest.Open "GET", "https://maps.googleapis.com/maps/api/directions/xml?origin=" & Origin & "&destination=" & Destination & "&key="
myRequest.send

Set myDomDoc = New DOMDocument60
myDomDoc.LoadXML myRequest.responseText

Set distanceNode = myDomDoc.SelectSingleNode("//leg/duration/value")

If Not distanceNode Is Nothing Then G_TIME = distanceNode.Text
exitRoute:

Set distanceNode = Nothing
Set myDomDoc = Nothing
Set myRequest = Nothing
End Function
```

Figura 20 - Macro em *excel* para obter a matriz de tempos

```
Function G_DISTANCE(Origin As String, Destination As String) As Double
Dim myRequest As XMLHTTP60
Dim myDomDoc As DOMDocument60
Dim distanceNode As IXMLDOMNode
G_DISTANCE = 0

On Error GoTo exitRoute
Origin = Replace(Origin, " ", "%20")
Destination = Replace(Destination, " ", "%20")

Set myRequest = New XMLHTTP60
myRequest.Open "GET", "https://maps.googleapis.com/maps/api/directions/xml?origin=" & Origin & "&destination=" & Destination & "&key="
myRequest.send

Set myDomDoc = New DOMDocument60
myDomDoc.LoadXML myRequest.responseText

Set distanceNode = myDomDoc.SelectSingleNode("//leg/distance/value")
If Not distanceNode Is Nothing Then G_DISTANCE = distanceNode.Text / 1000
exitRoute:

Set distanceNode = Nothing
Set myDomDoc = Nothing
Set myRequest = Nothing
End Function
```

Figura 21 - Macro em *excel* para obter a matriz de distâncias

ANEXO E: Representação visual das rotas da semana 16 (rota real e solução proposta pelo modelo)

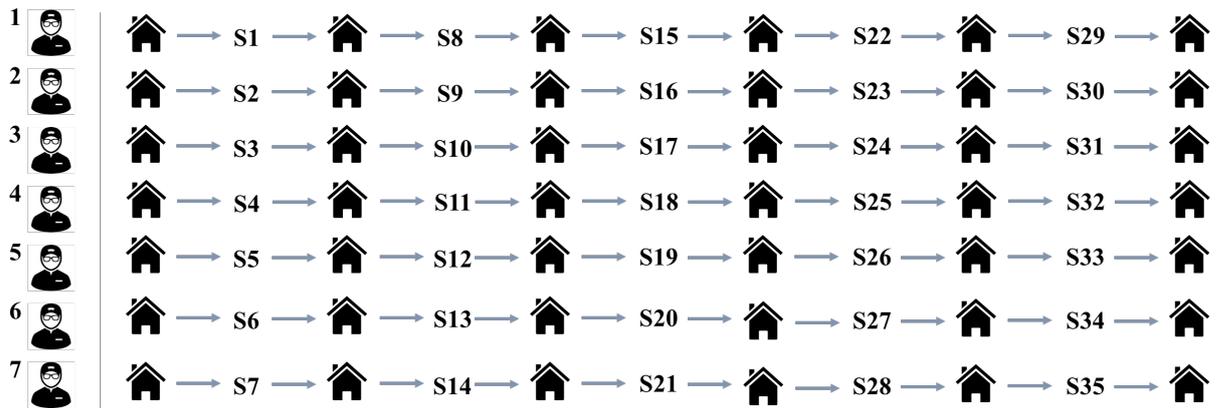


Figura 22 - Representação visual das rotas reais (semana 16)

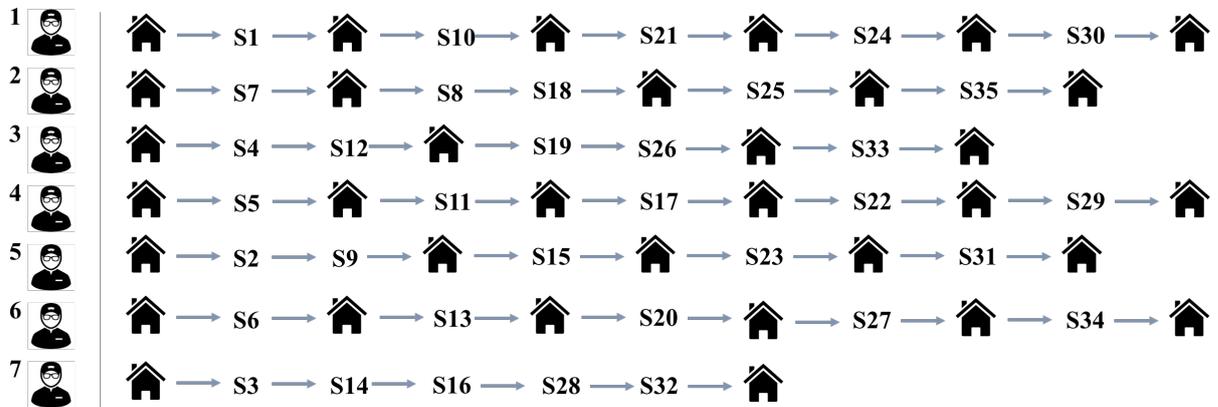


Figura 23 - Representação visual das rotas propostas pelo modelo (semana 16)