

# ■ **Capítulo 13 | Controlo da qualidade: uma perspetiva de futuro**

**Daniel Gaspar**

[danigaspar@estgv.ipv.pt](mailto:danigaspar@estgv.ipv.pt)

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu/CISED

**Samuel Messias**

[samueltmessias@gmail.com](mailto:samueltmessias@gmail.com)

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu/CISED

**Odete Lopes**

[odete@estgv.ipv.pt](mailto:odete@estgv.ipv.pt)

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu/CISED

## **Resumo:**

Este artigo explora as ferramentas e métodos atuais de controlo da qualidade, com uma perspetiva sobre o impacto das novas tecnologias e a evolução esperada na área. A crescente integração de soluções como a Inteligência Artificial, a Internet das Coisas (IoT), o Big Data e a robótica avançada têm vindo a transformar o controlo da qualidade, promovendo um modelo mais proativo, preciso e eficiente. Através da análise das principais inovações tecnológicas, discutem-se as suas vantagens em termos de automação, monitorização contínua, rastreabilidade e capacidade preditiva, bem como os desafios associados à sua implementação. Conclui-se que, no futuro, a adoção destas tecnologias proporcionará um aumento significativo na fiabilidade e agilidade dos processos de controlo da qualidade, preparando as empresas para responderem às exigências crescentes de competitividade e sustentabilidade. Este estudo contribui para o entendimento das tendências emergentes e das oportunidades de inovação no controlo da qualidade, oferecendo uma visão de futuro para gestores e profissionais da área.

**Palavras-chave:** Controlo da Qualidade; Novas Tecnologias; Automação

## **Abstract:**

This article explores modern tools and methods for quality control, with a perspective on the impact of new technologies and expected developments in the field. The growing integration of solutions such as Artificial Intelligence, the Internet of Things (IoT), Big Data, and advanced robotics has been transforming quality control, promoting a more proactive, precise, and efficient model. By analyzing the main technological innovations, the article discusses their advantages in terms of automation, continuous monitoring, traceability, and predictive capability, as well as the challenges associated with their implementation. It

concludes that, in the future, the adoption of these technologies will significantly increase the reliability and agility of quality control processes, preparing companies to meet the rising demands for competitiveness and sustainability. This study contributes to understanding emerging trends and innovation opportunities in quality control, offering a future perspective for managers and professionals in the field.

**Keywords:** Quality Control; New Technologies; Automation.

## 13.1 Introdução e Contexto

O presente capítulo tem como objetivo fundamental levar a uma reflexão sobre o futuro do movimento da qualidade, tendo em conta a dinâmica do contexto atual, na qual a inovação tecnológica é constante e incontornável. Com o foco nas técnicas e métodos de controlo da qualidade, pretende-se levar a cabo uma análise crítica e reflexiva ao que atualmente se faz no âmbito da temática em análise e quais as perspetivas de futuro.

Assim, para concretizar os objetivos deste capítulo, começar-se-á por fazer uma breve resenha histórica das ferramentas e técnicas de controlo da qualidade que mais se destacaram ao longo do tempo, descrevendo de forma sucinta as suas características e aplicações. Far-se-á de seguida uma análise comparativa entre as empresas industriais e de serviços, na aplicação das diversas ferramentas. Neste âmbito, será dada especial ênfase ao controlo estatístico do processo com cartas de controlo. Segue-se uma reflexão, à luz do contexto atual, sobre o futuro das técnicas de controlo da qualidade que serão, inevitavelmente, cada vez mais indissociáveis das novas tecnologias. Estas possibilitam, entre outros, o tratamento de dados de forma célere, rigorosa e fiável, condições fundamentais para qualquer empresa que se queira competitiva.

## 13.2 Evolução histórica do Controlo da Qualidade

O controlo da qualidade é fundamental na gestão de processos e produtos, tendo-se desenvolvido significativamente ao longo dos séculos. A sua evolução reflete mudanças nas práticas industriais, tecnológicas e nas expectativas dos consumidores. Este texto explora as principais fases da evolução histórica do controlo da qualidade, destacando as figuras e teorias que moldaram este campo.

## As Origens do Controlo da Qualidade

As raízes do controlo da qualidade podem ser traçadas até a Revolução Industrial, no século XVIII. Nesta época, a produção em massa começou a substituir a fabricação artesanal, e a necessidade de garantir a consistência e a fiabilidade dos produtos tornou-se evidente. No entanto, o controlo da qualidade ainda era rudimentar, focado principalmente na inspeção visual e na rejeição de produtos defeituosos.

## A Influência de Frederick Taylor e a Gestão Científica

O início do século XX trouxe uma abordagem mais sistemática com a introdução da gestão científica, liderada por Frederick Taylor. Taylor e os seus seguidores enfatizavam a eficiência e a padronização dos processos produtivos. O seu trabalho foi fundamental para estabelecer bases para a medição e a melhoria contínua da qualidade. Taylor introduziu a ideia de que a qualidade poderia ser melhorada por meio da análise e otimização dos métodos de trabalho, marcando uma evolução significativa no controlo da qualidade (Taylor, 1911).

## O Surgimento dos Métodos Estatísticos

Na década de 1920, o controlo da qualidade deu um passo importante com a introdução dos métodos estatísticos, graças ao trabalho de Walter A. Shewhart. Este desenvolveu o conceito de cartas de controlo, que permitiam a monitorização e o controlo de processos de produção com base em variáveis estatísticas. Este avanço foi crucial para o desenvolvimento de técnicas de controlo da qualidade mais precisas e eficazes (Shewhart, 1931).

## A Contribuição de W. Edwards Deming e Joseph Juran

A Segunda Guerra Mundial e a subsequente necessidade de recuperação económica dos países envolvidos na guerra impulsionaram o desenvolvimento de novos métodos de controlo da qualidade. W. Edwards Deming e Joseph Juran desempenharam papéis cruciais nesta fase. Deming introduziu o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) e promoveu a importância da Qualidade Total na gestão. Juran, por sua vez, desenvolveu o conceito de "Trilogia da Qualidade", que inclui planeamento, controlo e melhoria da qualidade (Deming, 1986; Juran, 1988).

## A Popularização da Qualidade Total

Na década de 1980, o conceito de Gestão pela Qualidade Total (TQM – *Total Quality Management*) ganhou destaque. Este conceito integra a qualidade em todos os aspectos da organização, desde a alta gestão até aos operadores. A TQM enfatiza a participação de todos os

colaboradores e a busca contínua pela melhoria. Nesta altura, o modelo de excelência da EFQM (*European Foundation for Quality Management*) tornou-se uma referência para muitas organizações (EFQM, 2020).

### A Era da Qualidade em Tempo Real e da Indústria 4.0

Nos últimos anos, o desenvolvimento das tecnologias digitais e a evolução para a Indústria 4.0 têm transformado o controlo da qualidade. O uso de sensores, análises avançadas de dados e inteligência artificial permitem a monitorização em tempo real e a predição de falhas antes que estas ocorram. Aquelas tecnologias têm permitido uma abordagem mais proativa e menos reativa ao controlo da qualidade, promovendo uma gestão mais eficiente e baseada em dados (Kagermann et al., 2013).

O controlo da qualidade evoluiu significativamente desde os seus primórdios, refletindo as mudanças nas práticas industriais e nas necessidades dos consumidores. Desde a inspeção visual rudimentar até as técnicas avançadas de análise de dados da Indústria 4.0, a história do controlo da qualidade é uma demonstração do avanço contínuo em busca de excelência e eficiência na produção.

## **13.3 O Controlo Estatístico da Qualidade**

A Revolução Industrial caracterizou-se por uma produção em grande escala com a separação clara entre fabricante e consumidor; em consequência, os fabricantes tiveram de desenvolver métodos de inspeção e controlo da qualidade. Inicialmente, o objetivo era controlar a qualidade dos produtos através de uma inspeção final que permitisse separar os produtos bons dos defeituosos, prevenindo a sua venda aos consumidores finais (Samohyl, 2009). Com o avançar do tempo, a inspeção da qualidade foi alargada com a utilização das ferramentas estatísticas, nomeadamente o Controlo Estatístico de Processo (CEP). (Gomes & Figueiredo, 2020).

O Controlo Estatístico de Processos é uma ferramenta que, por recolha periódica de dados sobre as características de qualidade do produto, permite monitorizar o processo e empreender as ações necessárias sempre que houver diferença entre os valores reais e as especificações definidas (Milan & Fernandes, 2002). É uma ferramenta bastante utilizada na maioria das indústrias de processo, que permite a tomada de decisão para alcançar a estabilidade do processo (Contador, 2002).

Em 1924, nos Laboratórios da empresa Americana Bell, Shewhart detetou diferenças nas causas de variação de um processo; algumas destas causas eram “naturais” ao processo enquanto outras não. Shewart, às causas naturais de variação, designou-as “causas comuns” ou “sob controlo” e às outras, “causas especiais” ou “sem controlo”. Esta análise preliminar culminou na criação de gráficos de controlo e na ferramenta CEP, que é um conjunto de técnicas estatísticas para monitorização de um processo (Farahani & Tohidi, 2021; Montgomery et al., 1994; Samohyl, 2009). O objetivo do CEP é determinar se o processo é capaz de produzir produtos dentro das especificações requeridas e se esse processo se encontra estável ao longo do tempo. Com esta ferramenta, o foco não é só o produto mas também o processo e todas as variáveis e recursos necessários para o seu desenvolvimento (Contador, 2002; Montgomery et al., 1994).

O CEP tem como objetivo fundamental a redução sistemática da variância das características importantes da qualidade. As características de qualidade são elementos do produto ou serviço que, em conjunto, definem a adequação para o uso de determinado produto ou serviço (Contador, 2002). Essas características, que em linguagem probabilística não são mais do que variáveis aleatórias, podem ser quantitativas (de que são exemplos o comprimento ou o peso), ou qualitativas (bom/defeituoso, passa/não passa).

Depois de Shewhart desenvolver em 1924 o conceito de carta de controlo estatístico, Dodge e Romig, no fim dos anos 20, também dos Bell Laboratories, desenvolveram a Aceitação por Amostragem, como alternativa à inspeção a 100% (Dodge & Romig, 1959).

De uma forma geral, o processo de controlo de qualidade com recurso a técnicas estatísticas começa pela aplicação de métodos de controlo por amostragem, seguido da implementação e utilização sistemática de Cartas de Controlo e, por fim, já com o processo estabilizado, controlado e amadurecido é feito um plano de controlo que permite otimizar os processos de controlo de qualidade e de produção.

Das técnicas estatísticas mais conhecidas (ou utilizadas) em Qualidade podem nomear-se: planos de amostragem; controlo estatístico de processos; análise de regressão; análise de variância; análise de séries temporais; planeamento de experiências e método de Taguchi.

Inicialmente os esforços no controlo da qualidade centravam-se na área da produção e nos produtos finais para o mercado (consumidor final ou industrial); no entanto, mais tarde, houve uma expansão para a área dos serviços (Samohyl, 2009). Neste alargamento do âmbito do controlo da qualidade e do CEP, o fator humano tem uma grande preponderância e impacto na qualidade do produto final ou serviço prestado ao cliente.

As técnicas e ferramentas de Controlo Estatístico de Processos são amplamente utilizadas nos setores industrial e de serviços e, com o avanço da tecnologia e as novas exigências de mercado, têm certamente espaço para evoluir (Li, 2021). Essa evolução aponta para um CEP mais inteligente, automatizado e conectado, que vai além do controlo de qualidade tradicional, que promove a criação de processos mais eficientes, sustentáveis e proativos em diversos setores da economia (Qiu et al., 2020).

No futuro, com a integração da Inteligência Artificial (IA) e *machine learning*, é expectável que o CEP consiga realizar análises mais avançadas, com maior precisão e predição dos dados. Em vez de simplesmente acompanhar as variações e desvios no processo, a IA pode identificar algumas tendências ou padrões nos dados, que permitam identificar os problemas antes que eles ocorram, evitando o aparecimento de defeitos. Também a capacidade de recolha, armazenamento e análise de grandes volumes de dados (*Big Data*) vai permitir ampliar as capacidades do CEP para identificar variações de processo e ter uma visão mais ampla do seu desempenho geral (Wang et al., 2020).

As ferramentas de IA também podem ajudar a que o CEP seja mais adaptável e até personalizado em diversos setores, processos ou produtos, de maneira a ter um sistema inteligente que possa ajustar as regras e limites de controlo com base nas condições em tempo real do tipo de produção e das características dos materiais (Nian et al., 2020).

Juntamente com o uso da IA, o uso crescente de sensores IoT nas linhas de produção permitirá a monitorização dos dados de processos em tempo real, proporcionando ajustes automáticos instantâneos quando são detetadas variações. Isso reduziria o tempo de resposta e aumentaria a eficiência, mantendo a qualidade do produto constantemente controlada (Nian et al., 2020). O futuro será a automação completa de processos baseados em ferramentas de CEP, onde os equipamentos ou sistemas de produção ajustam automaticamente os parâmetros do processo sem a necessidade de intervenção humana, até se chegar a uma ferramenta de controlo totalmente autónoma.

A evolução dos sistemas CEP pode incluir o uso de *dashboards* inteligentes e interativos, que oferecem uma visualização de dados mais dinâmica e intuitiva. Ferramentas de visualização de última geração facilitarão a compreensão de dados complexos e permitirão tomadas de decisões mais rápidas.

Embora as ferramentas de CEP já sejam bastante estabelecidas, ainda há espaço para avanços teóricos e científicos que podem impulsionar novas perspetivas e aplicações, como a incorporação de técnicas de *machine learning* e *deep learning* para melhorar a capacidade de previsão e diagnóstico dos processos. Também podem contribuir para o desenvolvimento

teórico do CEP (tornando-o mais dinâmico e adaptativo) as novas teorias de análise de dados, como análise preditiva e análise *bayesiana*, que são capazes de ajustar automaticamente os parâmetros em resposta a mudanças em tempo real nos processos e ambientes de produção.

O impacto da transformação digital nos processos de produção e serviços pode gerar novas áreas de pesquisa, explorando a forma como as tecnologias emergentes afetam a variabilidade e a qualidade dos processos. O desenvolvimento teórico pode explorar a aplicação de CEP em ambientes não convencionais, como processos criativos, serviços e indústrias emergentes, bem como a sua integração com áreas como as ciências sociais e humanas, explorando como os fatores humanos e tecnológicos afetam a variabilidade e o controlo da qualidade.

No futuro, o CEP pode melhorar a eficiência dos processos e incorporar critérios de sustentabilidade, não só controlando a qualidade do produto ou serviço, mas também otimizando o consumo de recursos durante o processo, como energia e materiais, alinhando-se com práticas empresariais mais ecológicas e sustentáveis. Ao promover a melhoria contínua e a inovação, o controlo da qualidade pode contribuir para soluções que otimizem recursos, promovam processos mais eficientes e impulsionem o crescimento económico de maneira sustentável.

## 13.4 O Controlo da Qualidade na sociedade atual

O Controlo da Qualidade é fundamental para garantir os elevados padrões de exigência e a qualidade de vida nas sociedades desenvolvidas. No entanto, a sua forma e aplicação podem variar tendo em conta as novas tecnologias e desafios que se colocam atualmente às empresas.

À medida que a tecnologia evolui e os padrões de vida mudam, as expectativas em relação à qualidade aumentam e, em consequência, o foco no cliente torna-se um factor crucial para as empresas. A personalização de produtos e serviços e a otimização da experiência do utilizador são o objectivo fundamental a alcançar, refletindo, por parte das empresas, uma preocupação incontornável em produzir produtos e prestar serviços de alta qualidade.

O controlo da qualidade pode também contribuir para o estímulo à responsabilidade das empresas. Ao implementar padrões de qualidade que valorizam a rastreabilidade e transparência, nomeadamente nas cadeias de abastecimento, através do uso de ferramentas como *blockchain*, as empresas reforçam a confiança dos consumidores e asseguram práticas empresariais mais responsáveis.

Com a globalização, há uma necessidade de padrões de qualidade que satisfaçam uma enorme diversidade de mercados e culturas, o que implica uma adaptação contínua das práticas

de controlo de qualidade. Por outro lado, a crescente preocupação com a sustentabilidade pode transformar a forma como o controlo da qualidade é aplicado, com maior ênfase em práticas ecológicas e de responsabilidade social. É um facto que a melhoria contínua da eficiência dos processos e das práticas sustentáveis é crucial para a qualidade de vida, reduzindo o impacto ambiental e promovendo práticas mais responsáveis.

O controlo da qualidade continuará a ser vital para a qualidade de vida das sociedades atuais, mas a sua aplicação e métodos evoluirão de forma a refletir as novas exigências e oportunidades de mercado. A adaptação contínua às mudanças tecnológicas, às expectativas sociais e às novas tendências de mercado será fundamental para que o controlo da qualidade permaneça relevante e eficaz.

## **13.5 O Controlo da Qualidade nos Sistemas de Gestão da Qualidade**

No mercado global, caracterizado por um ambiente de negócios cada vez mais competitivo, a ênfase no controlo da qualidade pode ser benéfica, especialmente em setores onde a qualidade é um aspeto diferenciador crítico. Assim, aumentar o nível de controlo da qualidade pode ajudar a identificar e mitigar riscos de forma mais eficaz, além de criar oportunidades para inovação e melhoria contínua. Já o inverso, ou seja, reduzir o foco no controlo da qualidade pode ser prejudicial, especialmente se a organização não tiver processos robustos para garantir a conformidade e a satisfação do cliente.

Na implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), o controlo da qualidade é uma componente central, mas a sua importância no âmbito da norma e sistemas de gestão pode variar consoante a organização e a área (Midor & Wilkowski, 2021).

As normas da família ISO 9000, nomeadamente a NP EN ISO 9001:2015, que define os requisitos para um SGQ, abordam o controlo da qualidade de uma maneira ampla, incluindo requisitos para o planeamento, controlo e melhoria dos processos. Procuram, no entanto, equilibrar o foco no controlo da qualidade com outros aspetos, como liderança, contexto organizacional e análise de riscos. Isto garante uma abordagem integrada e holística para a gestão da qualidade (Priede, 2012).

O controlo da qualidade é fundamental para garantir que produtos e serviços satisfaçam os requisitos e expectativas dos clientes, além de assegurar a conformidade com normas e legislação aplicável. É reconhecido que um bom controlo da qualidade contribui diretamente

para a satisfação do cliente, a eficiência operacional e a reputação da organização (Westgard & Westgard, 2017).

A abordagem moderna de um SGQ integra frequentemente o controlo da qualidade com outros componentes do sistema de gestão, como gestão de processos, gestão de riscos e gestão de mudanças. Isto permite uma visão mais abrangente e eficaz da qualidade. As organizações podem adaptar as práticas de controlo da qualidade às suas necessidades específicas, mantendo a flexibilidade para ajustar o foco conforme o contexto e os objetivos estratégicos.

Um dos aspetos importantes de um SGQ é a rastreabilidade do processo de produção, permitindo que as organizações acompanhem cada etapa da produção e identifiquem as causas dos problemas com precisão. A rastreabilidade requer um acompanhamento detalhado de todas as entradas, saídas e alterações no processo, bem como de todos os pontos de controlo da qualidade. Para isso, é preciso manter um registo claro e preciso de cada fase, o que pode ser um grande desafio para sistemas de produção complexos. Além disso, muitas organizações utilizam diferentes sistemas e plataformas para gerir processos, qualidade e logística, o que pode dificultar a integração e a consistência dos dados. Integrar diferentes plataformas para garantir uma rastreabilidade completa e contínua é um desafio que pode ser complexo e exigir um investimento significativo em tecnologia e tempo.

Os sistemas de rastreabilidade devem ser escaláveis para lidar com mudanças no volume de produção e na complexidade dos processos. À medida que as operações se expandem, o volume de dados gerados para rastreabilidade aumenta, sendo mais difícil manter um sistema fiável. Atualmente, a utilização de sistemas automatizados e processos de verificação digitais, com apoio da inteligência artificial, ajudam a mitigar esse risco.

Embora o controlo da qualidade seja fundamental para a rastreabilidade, vários desafios podem dificultar a sua implementação e manutenção eficazes. Esses desafios incluem a complexidade dos processos, a integração de sistemas, a qualidade dos dados e a conformidade regulatória. Superar essas dificuldades exige uma combinação de tecnologia avançada, processos bem definidos, formação adequada e uma abordagem proativa para a gestão de riscos. Investir adequadamente e adotar as melhores práticas pode ajudar a mitigar esses desafios e melhorar a eficácia da rastreabilidade.

A IA facilita a integração do controlo de qualidade com as cadeias de abastecimento, permitindo que as empresas acompanhem em tempo real a qualidade dos produtos desde os fornecedores até ao cliente final. Este processo melhora a rastreabilidade e facilita a deteção de problemas na origem. Isto é especialmente importante em indústrias onde a autenticidade e a segurança dos produtos são cruciais, como acontece na indústria farmacêutica ou alimentar.

## 13.6 O Controlo da Qualidade e a metodologia *Lean*

O *Lean* é uma metodologia de gestão que tem como principal fundamento a melhoria contínua em todos os processos visando a remoção de tudo o que não acrescenta valor ao processo ou ao produto.

O controlo da qualidade, tanto na indústria como nos serviços, tende a coexistir com o *Lean* com o objetivo da melhoria de processos e eliminação de desperdícios. Atualmente, o *Lean* já é amplamente adotado pelas empresas; no entanto, outras metodologias possuem potencial e podem coexistir ou até integrar-se na filosofia *Lean*, dependendo das necessidades e contextos específicos (Ferreira & Cunha, 2022). As organizações podem adaptar e customizar metodologias para atender às suas necessidades específicas, muitas vezes combinando aspetos do *Lean* com outras abordagens para resolver problemas específicos e alcançar as metas desejadas (Deshmukh et al., 2022; Kumar et al., 2022). A evolução contínua das práticas de gestão pode levar ao surgimento de novas metodologias ou à adaptação das existentes para responder de forma mais eficaz às necessidades e desafios atuais (Kumar et al., 2022).

No âmbito do controlo da qualidade, a metodologia *Six Sigma* apresenta-se com uma abordagem sistémica aos problemas e tem o seu foco na redução da variabilidade e melhoria da qualidade dos processos por meio do tratamento estatístico dos dados. Muitas empresas combinam *Lean* com *Six Sigma* (*Lean Six Sigma*) para obter uma maior eficiência operacional e um controlo de qualidade rigoroso (Ikumapayi et al., 2020). Já o *Design for Six Sigma* (DFSS) envolve a criação de processos e produtos com uma abordagem de qualidade intrínseca desde uma fase inicial. Pode complementar o *Lean* ao focar no *design* e desenvolvimento de processos e produtos de alta qualidade.

O *Kaizen* é uma outra abordagem de melhoria contínua que enfatiza pequenas mudanças incrementais. Embora a melhoria contínua seja também um princípio central do *Lean*, a aplicação do *Kaizen* na sua forma pura pode complementar o *Lean* em contextos onde a mudança gradual é mais adequada (Kholil, 2023).

O PDCA (Plan-Do-Check-Act) e o *Lean* são duas metodologias poderosas e amplamente adotadas no controlo de qualidade e na melhoria de processos, mas possuem focos distintos e podem, de facto, complementar-se de maneira eficaz (Ricci et al., 2021). O PDCA é uma metodologia cíclica para a melhoria contínua, enquanto o *Lean* se foca na eliminação de desperdícios e otimização de processos. Juntas, estas metodologias podem ser usadas de forma complementar, com o PDCA a fornecer uma estrutura para o ciclo de melhoria e o *Lean* a

oferecer ferramentas específicas para identificar e eliminar desperdícios. Embora a integração seja possível e até desejável em muitos casos, as necessidades e o contexto específico de cada organização ou setor podem manter as duas metodologias separadas (Ricci et al., 2021). PDCA e *Lean* são adaptáveis e eficazes em diferentes cenários, e a escolha da abordagem a utilizar pode depender das necessidades particulares de cada empresa. O futuro pode exigir metodologias mais adaptáveis que integrem princípios de PDCA e *Lean* com outras práticas emergentes, como Transformação Digital e Indústria 4.0, para enfrentar os desafios modernos de forma mais eficaz (Azzemou & Noureddine, 2021).

Em suma, enquanto o *Lean* continua a ser uma metodologia poderosa e amplamente utilizada, há espaço para a coexistência e integração com outras abordagens, que promovam a qualidade e, em última análise, a excelência operacional. A adaptação às novas tecnologias, a personalização das práticas e a inovação contínua garantirão que as empresas possam maximizar sua eficiência e eficácia num ambiente em constante mudança.

### **13.7 A relevância da formação para o Controlo da Qualidade**

A educação e a formação contínuas na área do controlo da qualidade serão essenciais para garantir que os profissionais estejam atualizados com as práticas e tecnologias mais recentes. Atualmente, verifica-se que a formação no âmbito da gestão da qualidade e das ferramentas de controlo da qualidade tem vindo a evoluir. Com efeito, vem sendo dada cada vez maior importância a esta temática nos currículos dos cursos universitários e profissionais por meio de uma abordagem prática e alinhada com as tendências do mercado atual (Zhuravel et al., 2021). As universidades e escolas profissionais têm estabelecido parcerias com empresas para criar programas de estágio, *workshops* e projetos práticos que envolvam os estudantes com problemas reais em contexto de trabalho, nas áreas da gestão e do controlo de qualidade. Essa experiência prática é muito importante para evidenciar a relevância do tema no mercado de trabalho (Abbas et al., 2024).

No futuro, espera-se que o ensino da qualidade integre tecnologias emergentes como Inteligência Artificial, Iot e Big Data, mostrando como estas ferramentas estão a fazer evoluir o controlo de qualidade. Incorporar estudos de caso reais e uso de ferramentas digitais tornará a aprendizagem mais relevante e atraente para os estudantes (Abbas et al., 2024).

O uso de plataformas online, simuladores e ambientes de trabalho virtuais pode facilitar o acesso à formação, tornando o conteúdo mais interativo e acessível, além de atrair uma nova geração de estudantes que estão familiarizados com técnicas de aprendizagem digital.

Estratégias deste tipo podem aumentar o interesse na área da qualidade e do controlo de qualidade garantindo, por esta via, a formação de profissionais capacitados para lidar com os desafios futuros (Zhuravel et al., 2021).

É essencial promover o valor das carreiras na área de qualidade, mostrando como profissionais de gestão da qualidade, metrologia e controlo têm um impacto direto na inovação, segurança e sustentabilidade das empresas.

Com a introdução da IA no controlo de qualidade, espera-se uma transformação no perfil dos profissionais da área. Haverá uma maior procura por profissionais qualificados para operar, monitorizar e interpretar os dados gerados pelos sistemas de IA, além de uma redução em tarefas repetitivas e manuais. A formação contínua com ênfase no controlo da qualidade será fundamental e deverá ser promovida, de forma a garantir que os profissionais estão preparados para implementar e manter altos padrões de qualidade nas organizações.

## 13.8 O Controlo da Qualidade nos serviços

Como já foi referido anteriormente, o controlo de qualidade na produção teve avanços muitos significativos. No entanto, o setor dos serviços, por depender mais de fatores humanos e mais subjetivos, é mais lento e enfrenta desafios maiores, mas que poderão ser gradualmente ultrapassados, com o recurso às novas tecnologias. Alguns exemplos são apresentados de seguida.

A implementação de sistemas automatizados nos serviços, como *chatbots* (programas de computador que simulam conversas humanas) e assistentes virtuais, podem garantir que determinados serviços sigam altos padrões de qualidade. Para além do uso dos *chatbots* e assistentes virtuais, podem ser usados sistemas de recomendação personalizados e análise de *feedback* em tempo real, de forma a garantir que as interações com os clientes são sempre de alta qualidade. Isto reduz a variabilidade no atendimento ao cliente e aumenta a eficiência, eliminando erros humanos em processos repetitivos e rotineiros (um exemplo são os *call centers* que, através da utilização de IA, ajustam e adequam os serviços prestados, melhorando a experiência do consumidor).

As ferramentas de IA podem processar grandes volumes de *feedback* de clientes (avaliações, comentários em redes sociais, etc.) em tempo real, identificando tendências, problemas recorrentes e áreas de melhoria. Esta capacidade da IA proporciona informações valiosas, que permitem ajustar e personalizar os serviços oferecidos, aumentando a qualidade.

Nos serviços presenciais, o uso de sensores conectados via IoT pode monitorizar e melhorar a experiência dos clientes em tempo real (por exemplo, em setores como a saúde, os sensores podem medir a temperatura ambiente, níveis de ruído ou até mesmo o tempo de espera dos utentes, permitindo ajustes imediatos para melhorar o serviço).

As plataformas de *Customer Experience Management* (CEM) que integram IA podem avaliar a jornada do cliente e identificar momentos críticos onde o serviço pode ser melhorado. Estas ferramentas permitem uma visão completa da experiência do cliente, ajudando a corrigir problemas de qualidade rapidamente.

Os sistemas de IA podem prever comportamentos e necessidades dos clientes, antecipando a procura e ajustando os serviços de forma proativa. Isto é especialmente útil em setores como as telecomunicações e banca, onde o histórico de interação com o cliente pode prever insatisfações futuras e permitir que os problemas sejam resolvidos antes que se tornem críticos. O uso de plataformas de *feedback* em tempo real, que permitam aos clientes avaliar serviços imediatamente após a interação, fornecendo dados instantâneos sobre a qualidade, permite uma resposta rápida e melhorias contínuas com base nas opiniões dos clientes.

As tecnologias de Realidade Virtual (VR) e Realidade Aumentada (AR) podem ser usadas como ferramentas mais eficazes de formação para funcionários de serviços. O uso destas ferramentas garante que aqueles sejam preparados para lidar com situações complexas, melhorando o atendimento ao cliente e a qualidade do serviço oferecido.

No setor de serviços financeiros e jurídicos, a tecnologia *blockchain* pode garantir que contratos e transações sejam realizados com total transparência e segurança, aumentando a confiança do cliente e a perceção de qualidade.

Os sistemas robotizados RPA (*Robotic Process Automation*) são outro exemplo de utilização de novas tecnologias nos serviços, destinados a executar tarefas administrativas e de *back-office*, como processamento de dados, faturação, entre outros. Estes sistemas reduzem erros, aceleram as operações e garantem uma execução precisa, libertando os colaboradores para tarefas mais complexas e de valor acrescentado.

## 13.9 O Controlo da Qualidade e as novas tecnologias

Do exposto anteriormente, fica claro que a utilização de novas tecnologias no controlo da qualidade aumenta a eficiência e a precisão dos processos, automatizando inspeções e minimizando erros humanos. As principais inovações incluem a IA para prever falhas, a IoT para monitorização em tempo real, o *Big Data* para análise de padrões e a robótica avançada

para inspeções automatizadas. Além disso, o *blockchain* garante a rastreabilidade, e a realidade aumentada e os *Digital Twins* permitem simulações e otimizações. Estas tecnologias proporcionam maior fiabilidade, redução de custos e melhoria contínua dos produtos e serviços (Vasiliev et al., 2021).

Com a IA, muitos processos de controlo de qualidade, que anteriormente eram manuais e demorados, foram sendo automatizados. Os sistemas de IA, integrados com dispositivos de IoT, conseguem inspecionar produtos em tempo real, identificar defeitos e tomar decisões instantâneas sem intervenção humana (como por exemplo a inspeção visual automatizada utilizando redes neurais para detetar imperfeições ou falhas em peças e produtos com mais precisão do que os olhos humanos). Este avanço é especialmente útil em indústrias como a automóvel, componentes electrónicos, e outras produções em grande escala, onde a precisão e a velocidade são cruciais.

A IA permite um controlo de qualidade mais adaptável e personalizado. Em vez de aplicar as mesmas métricas para todos os produtos ou processos, sistemas de IA podem ajustar os critérios de qualidade com base no tipo de produto, nas condições de produção ou nas preferências do cliente. As ferramentas de IA, em conjunto com a análise *big data*, permitem que as empresas utilizem a análise preditiva para identificar potenciais problemas de qualidade antes mesmo de ocorrerem. Com o aumento da automação e da precisão, a IA pode reduzir significativamente os custos associados a falhas de qualidade, enquanto melhora a eficiência operacional. A capacidade de detetar problemas no início do processo de produção ajuda a minimizar o retrabalho e o desperdício e permite que os sistemas identifiquem defeitos num estágio inicial do ciclo de produção, evitando que produtos defeituosos cheguem aos consumidores. Com a IA é possível que o sistema esteja a aprender continuamente com os dados recolhidos ao longo do tempo, o que melhora a eficácia dos processos de controlo de qualidade. À medida que mais dados são acumulados, os algoritmos de *machine learning* tornam-se mais precisos e eficazes, resultando na melhoria contínua que se pretende que exista nas empresas.

Atualmente, muitos sistemas de IA operam como "caixas-pretas", dificultando a compreensão das decisões tomadas. O desenvolvimento da IA explicável ajudaria a criar mais confiança nos sistemas automatizados de controlo de qualidade, permitindo que os operadores humanos entendam as decisões e intervenham de maneira mais eficaz quando necessário.

Os *digital twins*, já mencionados atrás, são representações virtuais de processos, produtos ou sistemas físicos, permitindo a simulação em tempo real. Também esta tecnologia, combinada

com IA, pode ser usada para prever e corrigir falhas potenciais, otimizar processos e melhorar a qualidade antes mesmo da produção física.

No futuro, o controlo de qualidade pode incluir o uso de materiais autorreparáveis ou autodiagnosticáveis. Esses materiais poderiam corrigir defeitos ou desgastes automaticamente, minimizando a necessidade de inspeção manual e prolongando a vida útil dos produtos. Também poderão ser usados no futuro sensores avançados de próxima geração, incluindo nanotecnologia, que podem ser incorporados nos produtos para detectar falhas invisíveis a olho nu ou mudanças químicas e estruturais em tempo real, elevando a precisão do controlo de qualidade.

Os softwares de controlo da qualidade têm evoluído significativamente e é provável que se continuem a desenvolver para satisfazer os níveis crescentes de exigência, e necessidade de integração e eficiência dos sistemas. Os softwares MES (*Manufacturing Execution Systems*) possibilitam uma melhor coordenação entre o controlo da qualidade e a produção, garantindo que os padrões de qualidade sejam mantidos ao longo de todo o ciclo de produção. No futuro, estes *softwares* poderão integrar-se com plataformas de gestão de relacionamentos com clientes (CRM) para recolher o *feedback* direto dos clientes sobre a qualidade dos produtos e serviços, permitindo ajustes baseados em dados reais do cliente. Toda esta integração permite maior transparência na comunicação com clientes, facilitando a notificação sobre a qualidade dos produtos e a gestão de reclamações e devoluções de forma mais eficaz.

Os softwares de controlo da qualidade continuarão a evoluir, incorporando tecnologias avançadas e novas funcionalidades para melhorar a precisão, eficiência e integração com sistemas de produção e plataformas de clientes. A integração mais profunda entre controlo da qualidade, produção e clientes não só é possível, mas é uma tendência crescente que pode oferecer grandes benefícios em termos de desempenho operacional e satisfação do cliente.

Com o fenómeno da globalização, os sistemas de controlo de qualidade tenderão a ser cada vez mais interconectados e interoperáveis, trocando dados em tempo real entre fábricas localizadas em diferentes países, permitindo uma monitorização da qualidade de forma global e única. Este tipo de evolução fomentaria um controlo de qualidade ainda mais inteligente, preventivo e eficiente, adaptado à complexidade crescente dos sistemas de produção atuais e às necessidades do futuro.

## 13.10 Conclusão

A evolução das ferramentas e métodos de controlo da qualidade aponta para um futuro em que a automação, a análise de dados avançada e a integração tecnológica serão fundamentais para a gestão da qualidade nas empresas. Soluções como a Inteligência Artificial, a Internet das Coisas e o *Big Data* permitem uma monitorização contínua, previsões mais precisas e decisões baseadas em dados, transformando processos de controlo que eram tradicionalmente manuais e reativos em sistemas proactivos e eficientes. A adoção destas tecnologias não só aumenta a fiabilidade e a precisão, como também prepara as organizações para responderem às crescentes exigências de qualidade, sustentabilidade e competitividade no mercado global.

No futuro, a integração destes métodos com a automação e com sistemas digitais deverá expandir ainda mais o alcance e a eficácia do controlo da qualidade, favorecendo um ambiente de produção mais sustentável, ágil e ajustado às exigências do mercado. As organizações que conseguirem adaptar-se a estas inovações e implementar as novas ferramentas de controlo da qualidade estarão mais bem posicionadas para alcançar a excelência operacional e garantir a satisfação do cliente. Assim, prevê-se que o futuro do controlo da qualidade será marcado pela inovação contínua, garantindo produtos e serviços de excelência, de forma ágil e sustentável.

## Referências

- Abbas, J., Kumari, K., & Al-Rahmi, W. M. (2024). Quality management system in higher education institutions and its impact on students' employability with the mediating effect of industry-academia collaboration. *Journal of Economic and Administrative Sciences*, 40(2), 325–343. <https://doi.org/10.1108/JEAS-07-2021-0135>
- Azzemou, R., & Nouredine, M. (2021). Deployment Of PDCA By Integrating Lean Manufacturing Tools. *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 15(2). <https://jamt.utem.edu.my/jamt/article/view/5893>
- Contador, J. C. (2002). *Gestão de Operações: A Engenharia de Produção a Serviço da Modernização da Empresa*. Editora Blucher.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. Massachusetts Institute of Technology.
- Deshmukh, M., Gangele, A., Gope, D. K., & Dewangan, S. (2022). Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1489–1495. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.155>
- Dodge, H.F. & H.G. Romig (1959). *Sampling Inspection Tables, Single and Double Sampling*, 2nd edition. John Wiley and Sons
- EFQM. (2020). *EFQM Model 2020*. European Foundation for Quality Management.

- Farahani, A., & Tohidi, H. (2021). Integrated optimization of quality and maintenance: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 151, 106924. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106924>
- Ferreira, D., & Cunha, P. (2022). Ranking Critical Tools in the Implementation of Lean Six Sigma as an Integrated Management System in Portugal (arXiv:2212.00088). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.00088>
- Gomes, Maria & Figueiredo, Fernanda. (2020). Papel do Controlo Estatístico da Qualidade em Indústria e Serviços.
- Ikumapayi, O. M., Akinlabi, E. T., Mwema, F. M., & Ogbonna, O. S. (2020). Six sigma versus lean manufacturing – An overview. *Materials Today: Proceedings*, 26, 3275–3281. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.986>
- Juran, J. M. (1988). *Juran on Planning for Quality*. Free Press.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Acatech.
- Kholil, M. (2023). Implementation of Lean Manufacturing to Reduce Hold Types of Mission Case Products using DMAIC and KAIZEN Approach. *International Journal of Scientific and Applied Research (IJSAR)*, eISSN: 2583-0279, 3(2), Artigo 2. <https://doi.org/10.54756/IJSAR.2023.V3.2.4>
- Kumar, N., Shahzeb Hasan, S., Srivastava, K., Akhtar, R., Kumar Yadav, R., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1188–1192. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>
- Li, J. (2021). Application of Statistical Process Control in Engineering Quality Management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 831(1), 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/831/1/012073>
- Midor, K., & Wilkowski, G. (2021). Recertification of a Quality Management System based on ISO 9001—Is it a must for a modern manufacturing company? *Production Engineering Archives*, 27(3), 217–222. <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.29>
- Milan, M., & Fernandes, R. A. T. (2002). Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. *Scientia Agricola*, 59, 261–266. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000200009>
- Montgomery, D. C., Keats, J. B., Runger, G. C., & Messina, W. S. (1994). Integrating Statistical Process Control and Engineering Process Control. *Journal of Quality Technology*, 26(2), 79–87. <https://doi.org/10.1080/00224065.1994.11979508>
- Nian, R., Liu, J., & Huang, B. (2020). A review On reinforcement learning: Introduction and applications in industrial process control. *Computers & Chemical Engineering*, 139, 106886. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106886>
- Priede, J. (2012). Implementation of Quality Management System ISO 9001 in the World and Its Strategic Necessity. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58, 1466–1475. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.1133>

- Qiu, P., Li, W., & Li, J. (2020). A New Process Control Chart for Monitoring Short-Range Serially Correlated Data. *Technometrics*, 62(1), 71–83. <https://doi.org/10.1080/00401706.2018.1562988>
- Ricci, G. M., Magrini, R. C., & Pandolfi, M. A. C. (2021). CICLO PDCA COMO FERRAMENTA DA QUALIDADE PARA A MELHORIA EM SERVIÇOS. *Revista Interface Tecnológica*, 18(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.31510/infa.v18i1.1122>
- Samohyl, R. W. (2009). *Controle Estatístico de Qualidade*. Elsevier.
- Savel'kaev, S. V. (2020). *Methods and Tools for Simulation and Quality Control of Design and Production of Microwave Devices*. Cambridge Scholars Publishing.
- Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. D. Van Nostrand Company.
- Sinzervinch, A., Torres, I. M. S., & Kogawa, A. C. (2023). Tools to Evaluate the Eco-efficiency of Analytical Methods in the Context of Green and White Analytical Chemistry: A Review [Text]. Bentham Science Publishers. <https://doi.org/10.2174/0113816128266396231017072043>
- Taylor, F. W. (1911). *The Principles of Scientific Management*. Harper & Brothers.
- Vasiliev, V. A., Aleksandrova, S. V., & Aleksandrov, M. N. (2021). Integration of Quality Management Tools into a Digital Management System. 2021 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), 352–354. <https://doi.org/10.1109/ITQMIS53292.2021.9642853>
- Wang, B., Hu, S. J., Sun, L., & Freiheit, T. (2020). Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 373–391. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.020>
- Westgard, J. O., & Westgard, S. A. (2017). Six Sigma Quality Management System and Design of Risk-based Statistical Quality Control. *Clinics in Laboratory Medicine*, 37(1), 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.cll.2016.09.008>
- Zhuravel, Y., Popadynets, N., Irtysheva, I., Stetsiv, I., Stetsiv, I., Hryhoruk, I., Boiko, Y., Kramarenko, I., Hryshyna, N., & Trushlyakova, A. (2021). Management Aspects in the Higher Education Quality Assurance System. Em T. Ahram, R. Taiar, & F. Groff (Eds.), *Human Interaction, Emerging Technologies and Future Applications IV* (pp. 635–642). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74009-2\\_81](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74009-2_81)

## Authors Profiles

**Daniel Gaspar** has received a PhD from the Faculty of Engineering of Oporto University-Portugal. He is currently Professor at the Mechanical Engineering and Industrial Management Department of the ESTGV/Polytechnic of Viseu - Portugal and researcher at CISED-IPV. His research interests are in Asset Management, Maintenance and Reliability.

**Daniel Gaspar, Samuel Messias, Odete Lopes**

**Samuel Messias** Samuel Messias completed his degree in Industrial Management at the Polytechnic of Viseu. He is currently a final year student of the Master's Degree in Engineering and Management of Physical Assets at ISEC/Polytechnic of Coimbra and a scholarship holder for the research project 3D Printing and Production of Biodegradable Filaments at CISED. His master's thesis develops the theme "Digital Transformation in Asset Management". His research interests are in Quality, Project Management, Asset Management and Digital Transformation.

**Odete Lopes** completed a PhD in Engineering and Industrial Management, Master in Business Management and Degree in Chemical Engineering. She is Assistant Professor in the Department of Mechanical Engineering and Industrial Management of Polytechnic of Viseu. Her research interests are in Quality Management and Supply Chain Management, particularly International Purchasing.