



RECICLAGEM 5.0

Sistema inteligente rastreável e transparente de incentivo à reciclagem urbana e circularidade colaborativa

Entregável 2.1 Levantamento e Especificação dos Requisitos para o Desenvolvimento da Plataforma Integradora de Reciclagem

Versão do Documento	V1.2
Data de Submissão	30/09/2026
Nível de Disseminação	PU – Público
Nome do Ficheiro	E2_1_R50_LevantamentoEspecificacaoRequisitosPIR
Acrónimo do Projeto	R5.0
Título do Projeto	Reciclagem 5.0: Sistema inteligente rastreável e transparente de incentivo à reciclagem urbana e circularidade colaborativa
Duração do Projeto	2 anos (01/2026-12/2027)

Com o apoio

sociedade
ponto verde

sotkon | UNINOVA | trash4goods® | SCEMAI



Sumário

O presente documento estabelece o levantamento e a especificação dos requisitos da solução Reciclagem 5.0 (R5.0), com especial incidência na Plataforma Integradora de Reciclagem (PIR) e na sua articulação com a componente *blockchain*. O documento identifica os intervenientes, delimita as suas responsabilidades e necessidades e define o funcionamento esperado da solução, constituindo a base para o posterior desenvolvimento da arquitetura e dos modelos de dados.

O trabalho parte de uma revisão de literatura organizada em cinco eixos: enquadramento regulatório da gestão de resíduos e da economia circular; modelos de tarifação e incentivo *PAYT*, *SAYT* e *RAYT*; tecnologias e infraestruturas de suporte; interoperabilidade e modelos de dados; e aplicação de *blockchain* à rastreabilidade. Esta análise enquadra as necessidades de integração, participação e monitorização consideradas na definição dos requisitos.

A R5.0 é caracterizada como um ecossistema que reúne infraestrutura física, sensores, serviços de dados, aplicação do cidadão, aplicações de operadores, PIR e *blockchain*. Neste conjunto, a PIR desempenha a função de middleware, estabelecendo a ligação entre os serviços especializados e a plataforma urbana municipal. Pretende-se disponibilizar aos municípios e às entidades gestoras do SIGRE informação normalizada e acessível segundo as suas competências, sem exigir a substituição dos sistemas dos fornecedores.

O enquadramento operacional distingue a Cadeia de Reciclagem Urbana da Cadeia de Materiais e Valorização. São definidos os papéis dos intervenientes, as responsabilidades e os direitos de acesso à informação, os processos de referência e as regras transversais. Segue-se a sistematização dos requisitos de utilizador, dos requisitos funcionais da PIR e da componente *blockchain* e dos requisitos não funcionais, acompanhados dos respetivos critérios de aceitação.

O âmbito de desenvolvimento e validação concentra-se no domínio urbano e na sua ligação à recolha e transporte. A extensão à CMV é considerada para assegurar a evolução futura, sem pressupor a sua validação operacional neste projeto. A arquitetura e a modelação de dados serão desenvolvidas posteriormente, tomando como referência a Estratégia Nacional de Territórios Inteligentes (ENTI) e o respetivo Catálogo Nacional de Modelos de Dados. O entregável estabelece, assim, uma base comum para orientar a implementação e integração das componentes da R5.0.



Índice

1. Resumo Executivo.....	7
1.1. Objetivo do documento	7
1.2. Enquadramento	7
1.2.1. Ecossistema R5.0 e principais componentes	8
2. Revisão de Literatura	10
2.1. Enquadramento regulatório e transição para a economia circular	10
2.2. Esquemas PAYT, RAYT e SAYT	11
2.3. Tecnologias e infraestrutura para classificação de resíduos e rastreabilidade na reciclagem.....	12
2.4. Modelos de dados, interoperabilidade e plataformas urbanas	14
2.5. Blockchain, contratos inteligentes, segurança e rastreabilidade.....	15
2.6. Limitações apontadas à revisão de literatura	16
3. Enquadramento Operacional e Requisitos dos Intervenientes no Ecossistema R5.0 18	
3.1. Intervenientes e governação	18
3.1.1. Catálogo de intervenientes	18
3.1.2. Organização, relações e escalabilidade.....	20
3.1.3. Responsabilidade sobre a informação.....	24
3.2. Processos de referência e regras transversais.....	26
3.2.1. Processos de referência.....	27
3.2.2. Regras transversais e invariantes operacionais	31
3.3. Requisitos dos utilizadores	33
3.3.1. Município ou entidade gestora (URB)	34
3.3.2. Fornecedores de infraestrutura e serviços digitais (URB)	34
3.3.3. Cidadão e agregado familiar (URB)	35
3.3.4. Comércio local e parceiros de recompensas (URB).....	36
3.3.5. Recolha e transporte de resíduos (URB-CMV)	36
3.3.6. Intervenientes da Cadeia de Materiais e Valorização (CMV)	37
3.3.7. Entidade gestora do SIGRE (URB e CMV).....	38
3.3.8. Técnicos de apoio e manutenção R5.0 (URB e CMV).....	38
4. Requisitos Funcionais da Plataforma Integradora.....	39
5. Conclusões	43
6. Referências	44



Índice de figuras

Figura 1 – Representação das componentes e interfaces que constituem o ecossistema R5.0, com recurso a um diagrama UML de Componentes.....	9
Figura 2 – Representação organizacional do ecossistema R5.0 e dos seus intervenientes, subdividido nas cadeias de reciclagem urbana e de materiais e valorização, com recurso a um diagrama UML de Classes.	21
Figura 3 – Representação organizacional da cadeia URB e dos seus intervenientes, com recurso a um diagrama UML de Classes.	22
Figura 4 – Representação organizacional da cadeia CMV e dos seus intervenientes, com recurso a um diagrama UML de Classes.	23
Figura 5 – Representação do processo de adesão ao R5.0, com recurso a um diagrama UML de Sequência.....	27
Figura 6 – Representação do processo de reciclagem no R5.0, com recurso a um diagrama UML de Sequência.....	28
Figura 7 – Representação do processo de atribuição e utilização de recompensas e benefícios RAYT/SAYT no ecossistema R5.0, com recurso a um diagrama UML de Atividade.	29
Figura 8 – Representação do processo de recolha, transporte e tratamento de resíduos no ecossistema R5.0, com recurso a um diagrama UML de Atividade.	30
Figura 9 – Visão geral das interações essenciais de cada utilizador/parceiro, representadas através de um diagrama UML de Casos de Uso.....	33



Índice de tabelas

Tabela 1 – Âmbito do entregável E2.1 e desenvolvimento reservado para as etapas seguintes.....	7
Tabela 2 – Principais componentes do ecossistema R5.0 e respetivas funções.	8
Tabela 3 – Síntese das lacunas identificadas na revisão e respetivas implicações para o levantamento de requisitos da R5.0.....	16
Tabela 4 – Listagem dos intervenientes da R5.0 identificados, as suas responsabilidades e multiplicidade.	19
Tabela 5 – Listagem das principais responsabilidades, regras e diferenças nos de acessos a informação por tipologia e domínio.....	25
Tabela 6 – Síntese dos Processos de Referência (PR) da plataforma R5.0, incluindo o percurso operacional esperado e as principais exceções a considerar.	31
Tabela 7 – Regras de Negócio (RN) transversais e invariantes operacionais a preservar no funcionamento, integração e evolução da plataforma R5.0.	32
Tabela 8 – Requisitos de utilizador do município ou entidade gestora na cadeia URB.	34
Tabela 9 – Requisitos de utilizador dos fornecedores de infraestrutura e serviços digitais.	35
Tabela 10 – Requisitos de utilizador do cidadão e do agregado familiar.	35
Tabela 11 – Requisitos de utilizador do comércio local e dos parceiros de recompensas.	36
Tabela 12 – Requisitos de utilizador da recolha e transporte na ligação entre URB e CMV.	37
Tabela 13 – Requisitos de utilizador comuns a REC, FAB, EMB e DIS para a futura extensão à CMV.....	37
Tabela 14 – Requisitos de utilizador da entidade gestora do SIGRE para acompanhamento transversal do ecossistema.....	38
Tabela 15 – Requisitos de utilizador do operador da solução e da comunidade técnica. .	38
Tabela 16 – Requisitos funcionais da plataforma integradora R5.0 para utilização pelo MUN e pela SGR.	40



Glossário

Termo	Significado utilizado
R5.0, Reciclagem 5.0	Ecossistema tecnológico e operacional desenvolvido no projeto, integrando infraestrutura de recolha, serviços de dados, aplicações, Plataforma Integradora de Reciclagem e componente <i>blockchain</i> .
URB, Cadeia de Reciclagem Urbana	Parte do ecossistema centrada na prestação e utilização do serviço municipal de resíduos, envolvendo principalmente MUN, CID, INF, COM e TRP. Inclui deposição, acesso, recolha, incentivos, recompensas e tarifação.
CMV, Cadeia de Materiais e Valorização	Parte do ecossistema que acompanha os resíduos e materiais após a recolha, incluindo receção, tratamento, reciclagem, produção, embalagem e distribuição. Abrange principalmente TRP, REC, FAB, EMB e DIS.
CID, Cidadão / agregado familiar	Utilizador final do serviço municipal de resíduos. Pode representar uma pessoa individual ou um membro autorizado de um agregado associado a uma conta de serviço.
INF, Fornecedor de infraestrutura e/ou serviços de dados	Entidade que disponibiliza equipamentos, sensores, aplicações, manutenção, conectividade ou serviços de recolha e tratamento de dados necessários ao funcionamento do ecossistema.
COM, Comércio local / parceiro de recompensas	Estabelecimento ou entidade que disponibiliza produtos, serviços, descontos ou outras recompensas aos participantes dos programas RAYT.
TRP, Recolha e transporte	Entidade responsável pela recolha dos resíduos nos pontos de deposição e pelo seu transporte até à instalação ou entidade de destino. Constitui a principal ligação entre URB e CMV.
REC, Centro / operador de triagem, tratamento e reciclagem	Entidade ou instalação que recebe resíduos e realiza operações de pesagem, triagem, tratamento, valorização, reciclagem, rejeição ou encaminhamento.
FAB, Fabricante	Entidade responsável pela produção de materiais ou embalagens e, quando aplicável, pela incorporação de matéria-prima secundária proveniente de reciclagem.
EMB, Embalador / importador	Entidade responsável pelo acondicionamento dos produtos e respetiva embalagem, garantindo as condições necessárias à sua disponibilização e distribuição no mercado.
DIS, Distribuidor / retalhista	Entidade responsável pela movimentação, distribuição e disponibilização comercial dos produtos e embalagens.
SGR, Entidade gestora do SIGRE	Entidade responsável pelo acompanhamento das responsabilidades associadas às embalagens abrangidas pelo SIGRE, incluindo financiamento, resultados e cumprimento de metas.
TEC, Operador / integrador tecnológico	Entidade responsável pela operação técnica, manutenção, integração e evolução da infraestrutura digital R5.0, sem assumir as competências de governação dos restantes intervenientes.
Domínio municipal	Âmbito territorial e operacional no qual um MUN é responsável pelo serviço. Agrega os utilizadores, contratos, infraestruturas, fornecedores, regras e serviços aplicáveis nesse território e período.
Contrato municipal de resíduos / reciclagem	Relação funcional entre o MUN e uma unidade de serviço, normalmente associada a uma morada ou imóvel. Pode possuir um titular ou representante, mas não se confunde com a identidade individual dessa pessoa.
Agregado familiar	Conjunto de pessoas associado a uma mesma conta de serviço municipal. A pertença ao agregado não significa que todos os seus membros tenham os mesmos meios de acesso ou que seja possível identificar automaticamente quem realizou cada deposição.
Titular / representante	Pessoa autorizada a representar uma conta de serviço ou agregado perante o sistema. A sua identidade é distinta do contrato, da morada e das credenciais utilizadas para aceder à infraestrutura.
Código / chave de ativação	Código utilizado durante a adesão para associar uma conta da aplicação ao domínio, contrato ou programa municipal correto. Pode ser fornecido num formato <i>String</i> , QR Code ou <i>deep link</i> e não constitui, por si só, uma credencial permanente de acesso.



1. Resumo Executivo

O entregável E2.1 consolida o enquadramento e os requisitos necessários ao desenvolvimento da solução R5.0. Apresenta uma visão comum do ecossistema, distingue as funções das suas componentes e estabelece as necessidades que deverão orientar a conceção da PIR e a sua articulação com a *blockchain*.

1.1. Objetivo do documento

O objetivo deste documento é estudar as abordagens existentes, delimitar o ecossistema R5.0 e definir os requisitos necessários ao seu funcionamento. Para esse efeito, identifica os intervenientes, estabelece as suas responsabilidades, descreve os principais processos e especifica as funcionalidades e condições de operação exigidas à solução.

O levantamento considera as necessidades de utilização do ecossistema como um todo, incluindo as aplicações do cidadão e dos operadores. A especificação funcional concentra-se, contudo, na PIR e, separadamente, na componente *blockchain*. Esta distinção permite compreender as dependências entre serviços sem atribuir à PIR todas as funções executadas pelas aplicações, pelos equipamentos ou pelos sistemas dos fornecedores.

O documento não apresenta ainda a arquitetura detalhada nem o modelo de dados da solução. Define os requisitos que deverão fundamentar essas etapas, conforme a delimitação apresentada na *Tabela 1*.

Tabela 1 – Âmbito do entregável E2.1 e desenvolvimento reservado para as etapas seguintes.

Incluído no E2.1	Reservado para desenvolvimento posterior
Revisão de literatura e identificação dos referenciais relevantes para a solução.	Seleção e concretização das opções tecnológicas de implementação.
Definição dos intervenientes, responsabilidades, acessos e requisitos de utilizador.	Configuração concreta dos participantes, sistemas e integrações em cada instalação.
Descrição dos processos, exceções e regras transversais de funcionamento.	Desenho detalhado da arquitetura, das interfaces e das comunicações entre componentes.
Requisitos funcionais da PIR e da componente <i>blockchain</i> , requisitos não funcionais e critérios de aceitação.	Especificação dos modelos de dados, implementação dos serviços e validação da solução.

Esta separação permite utilizar o E2.1 como referência para avaliar as decisões posteriores: a arquitetura e os modelos de dados deverão responder às necessidades aqui identificadas, mantendo a ligação entre cada requisito e o comportamento que se pretende disponibilizar.

1.2. Enquadramento

A gestão municipal de resíduos envolve fornecedores de infraestrutura, sensores, sistemas de acesso, aplicações e operadores de recolha que podem utilizar soluções tecnológicas distintas. A informação necessária à gestão do serviço encontra-se, por isso, distribuída entre vários sistemas. **A fragmentação e a incompatibilidade entre plataformas são identificadas na proposta R5.0 como obstáculos ao acompanhamento da operação e à tomada de decisão municipal.**

A resposta pretendida não consiste em substituir todos esses sistemas por uma única aplicação. Consiste em criar condições para que os fornecedores disponibilizem os seus serviços através de interfaces e informação comuns, permitindo ao município acompanhar



o conjunto da operação sem depender de uma ferramenta diferente para cada fornecedor. Esta necessidade estende-se à **entidade gestora do SIGRE**, que deverá conseguir relacionar informação de diferentes municípios e etapas da cadeia para acompanhar resultados, financiamento e metas.

A PIR surge como a componente responsável por essa integração. Para o município, deverá permitir consultar informação, configurar serviços e acompanhar pedidos e resultados num contexto comum. Para os fornecedores, deverá oferecer uma **referência de integração que facilite a ligação dos seus equipamentos e serviços aos sistemas municipais**.

Esta abordagem considera também que a reciclagem é apenas um dos setores acompanhados pelo município. A PIR deverá, portanto, funcionar como um serviço especializado de gestão de resíduos integrado numa plataforma urbana mais abrangente, e não como uma solução isolada dos restantes serviços municipais.

1.2.1. Ecossistema R5.0 e principais componentes

O **ecossistema R5.0** corresponde ao conjunto de intervenientes, infraestrutura física, aplicações e serviços que participam na utilização, gestão e rastreabilidade do serviço de resíduos. A **PIR** é uma componente desse ecossistema, com uma função específica de integração. A distinção entre estes conceitos é necessária para interpretar os requisitos do documento e compreender qual a componente responsável por cada interação.

A *Tabela 2* apresenta as principais componentes e a função que desempenham no conjunto da solução.

Tabela 2 – Principais componentes do ecossistema R5.0 e respetivas funções.

Componente	Função no ecossistema
Infraestrutura física, sensores e serviços de dados	Suportam a deposição e a recolha e disponibilizam informação sobre acessos, resíduos, enchimento, estado dos equipamentos e operações realizadas, de acordo com as capacidades instaladas.
Aplicação do Cidadão (AC)	Permite associar o cidadão ao serviço municipal, consultar sessões e pontos, utilizar recompensas, acompanhar benefícios tarifários, receber informação e solicitar apoio.
Aplicações de Operadores e parceiros (AO)	Disponibilizam interfaces adequadas às funções de recolha, manutenção, gestão de recompensas e outras operações, permitindo registar a atividade e consultar a informação necessária à sua execução.
Plataforma Integradora de Reciclagem (PIR)	Integra e normaliza a informação dos diferentes serviços, articula pedidos e respostas e disponibiliza funcionalidades de gestão e acompanhamento ao município e/ou entidade gestora do SIGRE. Estabelece a ligação à Plataforma Urbana municipal (PU).
Componente <i>blockchain</i>	Suporta o registo rastreável de todos os acontecimentos e transações abrangidos pela solução, permitindo relacionar evidências, identificar os respetivos responsáveis e acompanhar o histórico autorizado.

As aplicações constituem os principais canais de interação dos utilizadores com os serviços. O cidadão utiliza a aplicação do cidadão ou os meios alternativos de acesso à infraestrutura; os operadores e parceiros utilizam interfaces adequadas às suas tarefas. A PIR articula a informação e as operações entre esses sistemas, enquanto a *blockchain* desempenha uma função transversal de registo e rastreabilidade. Esta articulação entre aplicações, infraestrutura, serviços municipais e *blockchain* está prevista no enquadramento de integração do projeto.

Uma componente não corresponde necessariamente a um único fornecedor. O contentor, os sensores, a manutenção e o serviço que disponibiliza os dados podem ser



assegurados por organizações diferentes. Do mesmo modo, uma entidade pode fornecer várias componentes. O levantamento de requisitos procura acomodar estas configurações sem fazer depender o funcionamento do ecossistema de uma marca ou combinação fixa de fornecedores.

A *Figura 1* deverá sintetizar esta organização, distinguindo os canais de utilização, os serviços de integração e a componente transversal de rastreabilidade.

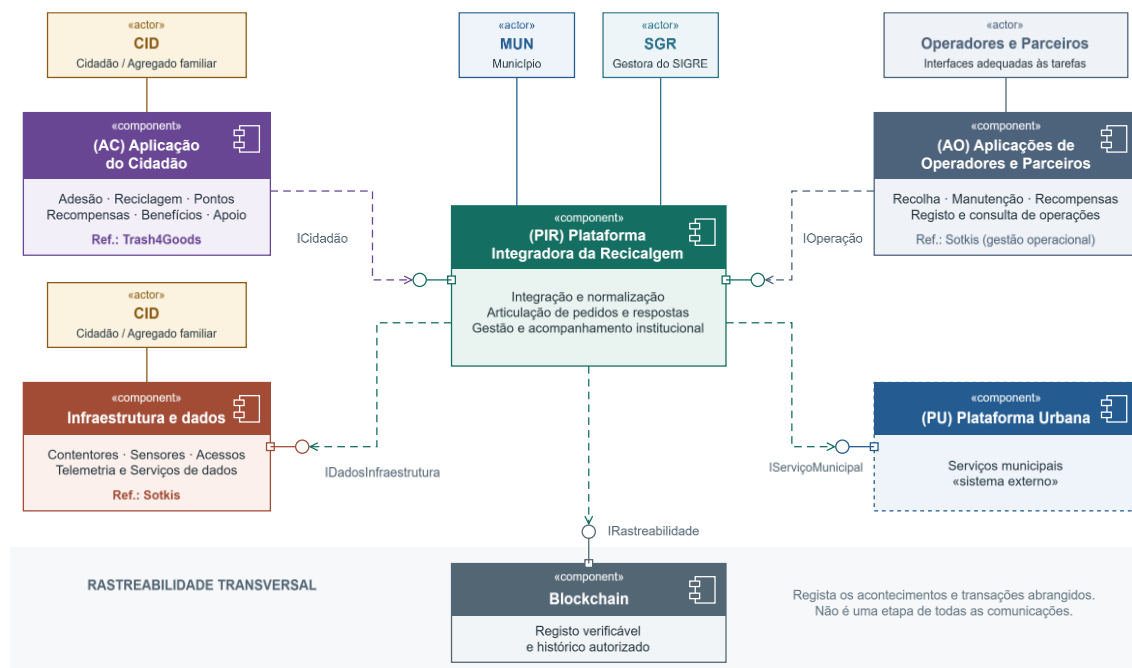


Figura 1 – Representação das componentes e interfaces que constituem o ecossistema R5.0, com recurso a um diagrama UML de Componentes.

Estratégia Nacional de Territórios Inteligentes (ENTI) e o **Catálogo Nacional de Modelos de Dados para os Territórios Inteligentes (CNMD)**, da autoria da **Agência para a Reforma Tecnológica do Estado (ARTE)**, constituem referências para a evolução da solução. O CNMD disponibiliza modelos harmonizados destinados a facilitar a partilha, a consistência e a interoperabilidade da informação entre entidades públicas.

A orientação adotada pela R5.0 é **partir destes referenciais, em vez de criar convenções** independentes para informação já representada nos modelos existentes. A arquitetura e a modelação de dados a desenvolver deverão avaliar a sua adequação aos requisitos identificados, reutilizar o que for aplicável e explicitar as necessidades adicionais do domínio da reciclagem. Eventuais extensões poderão constituir uma contribuição futura para o catálogo, sujeita à apreciação da entidade responsável.

Neste enquadramento, a PIR deverá estabelecer a ponte entre os serviços especializados do ecossistema e a plataforma urbana municipal. O alinhamento com a ENTI é uma orientação de desenvolvimento e integração, não uma declaração de conformidade já demonstrada pelo presente entregável.

A validação prevista em Cascais deverá considerar a articulação com o **CABI (Cascais Ambiente Business Intelligence)**, plataforma de gestão de operações da Cascais Ambiente. O objetivo será verificar a utilização da informação integrada num contexto operacional municipal, incluindo a ligação entre infraestrutura, aplicações e serviços. Os requisitos definidos neste documento constituem a referência para preparar e avaliar essa integração, não um relato de resultados já obtidos.



2. Revisão de Literatura

O presente capítulo apresenta o estado da arte referente às tecnologias, metodologias e enquadramentos regulatórios que suportam o desenvolvimento de sistemas avançados de gestão de resíduos urbanos, com particular foco na transição para a economia circular. A revisão de literatura que se segue está estruturada em cinco secções principais, que refletem os pilares deste ecossistema. A revisão começa por explorar o contexto legislativo europeu e nacional, evoluindo depois para a análise de modelos de incentivo económico e comportamental, tais como *PAYT*, *SAYT* e *RAYT* e a sua aplicação em vários contextos europeus. De seguida, aborda as infraestruturas físicas e tecnológicas necessárias para operacionalizar estes modelos, passando pela importância da interoperabilidade e dos modelos de dados abertos em plataformas urbanas centrais e inteligentes. Por fim, investiga o papel da tecnologia *blockchain* e dos contratos inteligentes na garantia de transparência, rastreabilidade e na sustentação de recompensas automatizadas no âmbito da reciclagem.

2.1. Enquadramento regulatório e transição para a economia circular

A transição de modelos económicos lineares para uma economia circular é um pilar central das políticas ambientais europeias, impulsionando profundas alterações na gestão de resíduos urbanos. O enquadramento legal europeu baseia-se fundamentalmente na Diretiva 2008/98/CE do Parlamento e Conselho Europeu [1], que estabeleceu conceitos-chave de resíduo, reciclagem e valorização. Esta diretiva introduziu ainda a hierarquia dos resíduos priorizando a prevenção, a reutilização, a reciclagem e a valorização, relegando a eliminação (como a deposição em aterro) para último recurso.

Posteriormente, com o objetivo de acelerar esta transição, a Diretiva (UE) 2018/851 [2] trouxe alterações que transformaram a abordagem europeia numa verdadeira gestão sustentável de materiais. Esta atualização aumentou significativamente as metas para a preparação para reutilização e reciclagem de resíduos urbanos, reforçou os requisitos dos regimes de **Responsabilidade Alargada do Produtor** e **tornou obrigatória a recolha seletiva de bio resíduos e têxteis**, com marcos definidos para 2025, 2030 e 2035.

Mais recentemente, a Diretiva 2025/1892 [3] introduziu mais rigor a este enquadramento, estabelecendo metas vinculativas para a redução do desperdício alimentar até 2030 e tornando obrigatórios os **sistemas de responsabilidade alargada do produtor também para os setores do calçado e têxteis**, exigindo a sua transposição para os ordenamentos jurídicos nacionais até 2027 [4].

Como reflexo deste panorama consolidado pela Legislação da UE em matéria de gestão de resíduos [5], Portugal tem vindo a alinhar as suas estratégias nacionais com as diretrizes europeias. Embora o país tenha ficado 4,8% aquém da meta estabelecida para 2025 no âmbito da responsabilidade do produtor a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), mantém o compromisso de atingir as metas fixadas para 2030 e 2035 [6]. Esta estratégia nacional encontra-se operacionalizada em instrumentos centrais como o Plano Nacional de Gestão de Resíduos [7], [8] e o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos [9], [10], os quais priorizam a informação e políticas locais orientadas para a economia circular que consolidam e evidenciam os marcos já alcançados. Perspetiva-se, assim, uma evolução futura pautada pelo maior envolvimento comunitário e por metas de prevenção mais exigentes.



2.2. Esquemas *PAYT*, *RAYT* e *SAYT*

A alteração dos padrões de consumo e de deposição de resíduos exige a implementação de modelos de incentivo eficazes. Estes modelos dividem-se frequentemente nas abordagens *Pay-As-You-Throw* (*PAYT*), *Save-As-You-Throw* (*SAYT*) e *Reward-As-You-Throw* (*RAYT*).

O princípio metodológico do *PAYT* é simples e direto: **o utilizador paga consoante a quantidade de lixo que descarta**. A contabilização destes resíduos pode ser feita pelo volume de sacos ou contentores, pela frequência de recolha ou pelo peso. Embora os modelos baseados no volume sejam mais económicos e de fácil implementação, revelam-se menos rigorosos. Por outro lado, os sistemas baseados no peso são considerados mais justos, mas exigem infraestruturas como balanças, sistemas de calibração e maior manutenção [11]. Apesar destes custos operacionais adicionais, as revisões literárias indicam que o *PAYT* por peso é o método que gera reduções mais expressivas na produção de resíduos e uma maior adesão à reciclagem [12].

Para garantir a justiça social nestes processos, o *SAYT* introduz **mecanismos de equidade, procurando evitar impactos financeiros desproporcionais** nas famílias mais vulneráveis. Esta abordagem pode ser concretizada através de tarifas escalonadas compostas por uma parcela fixa e outra variável ou mediante a aplicação de reduções específicas. Estudos focados na aceitação pública sublinham que a total transparência no processo de cálculo e a clareza dos benefícios práticos para o utilizador são fatores críticos para a viabilidade e aceitação social destas medidas [13].

Numa vertente complementar, o *RAYT* foca-se no **reforço positivo em vez da penalização**. Este sistema utiliza incentivos financeiros, atribuição de pontos e dinâmicas de gamificação para premiar a separação correta dos resíduos e a devolução de materiais recicláveis. Para funcionar adequadamente, esta metodologia exige sistemas de verificação de dados muito robustos, de forma a garantir a sua fiabilidade e evitar fraudes. As experiências piloto realizadas até ao momento demonstram que a conjugação das metodologias *PAYT* e *RAYT* constitui a estratégia mais eficaz para promover uma mudança consistente no comportamento ambiental dos cidadãos [13].

A eficácia dos sistemas baseados em incentivos e reembolsos é bem ilustrada no relatório da ReLoop Platform [14], que apresenta um “*Overview and results of Deposit Return Schemes in Europe*”. Este documento fornece uma análise exaustiva aos Sistemas de Depósito e Reembolso (*DRS - Deposit Return Schemes*), que funcionam como uma forma prática de *SAYT* para embalagens de bebidas. O relatório [15] demonstra que os países europeus com *DRS* estabelecidos alcançam taxas de retorno e reciclagem substancialmente mais elevadas, apontando para a necessidade de normalizar estes esquemas e integrá-los de forma eficaz com outros mecanismos *PAYT* urbanos.

Para além do incentivo estritamente financeiro, **as dinâmicas comportamentais e a psicologia do utilizador desempenham um papel fulcral no sucesso das estratégias *RAYT***. Venturi *et al*, na sua investigação “*Trash to treasure: Gamification and informed recycling behavior*”, exploram a forma como a **gamificação em plataformas digitais interativas pode melhorar a educação cívica** [16]. O estudo demonstra que aplicações gamificadas aumentam significativamente a aprendizagem e a compreensão sobre a correta separação de resíduos, fomentando um comportamento de reciclagem informado e sustentável, sugerindo que decisores políticos e empresas integrem estas ferramentas no apoio à economia circular.



2.3. Tecnologias e infraestrutura para classificação de resíduos e rastreabilidade na reciclagem

Para que as metodologias *PAYT*, *SAYT* e *RAYT* sejam operacionalizáveis, é necessária **uma infraestrutura tecnológica tanto física como digital de tal maneira robusta que assegure a identificação do utilizador, a medição e rastreio de resíduos, a atribuição de incentivos e a monitorização contínua dos resultados.**

Na parte física, vários elementos ganharam inteligência, desde os próprios contentores aos meios de recolha de resíduos. Nos contentores, um tópico que tem conquistado cada vez mais relevância trata-se do **retrofitting**. Isto consiste na **adição de módulos tecnológicos**, muitas vezes relacionados com *IoT*, tais como sensores de enchimento, fechaduras inteligentes, balanças, leitores *Radio Frequency Identification (RFID)*, sensores de odor e sensores de temperatura para fornecer capacidades analíticas e de conexão ao contentor, necessárias para a implementação das plataformas inteligentes que neles assentam. Estudos demonstram um grande potencial nesta abordagem, sendo fatores como **reduzido custo, tempo de execução e elevada fiabilidade destacados**, sendo até, os contentores adaptados, comparados aos contentores nativamente inteligentes [17], [18], [19].

É importante destacar que as tecnologias de *retrofitting* não se limitam a sensores básicos, já existindo *kits plug-and-play* que incluem sensores multifuncionais e conectividade via *NB-IoT* ou *LoRaWAN*. Estes *kits* são alimentados por baterias de longa duração ou painéis solares, garantindo baixo custo de manutenção. Em contextos urbanos, a conectividade assegura transmissão contínua de dados, enquanto em áreas rurais soluções híbridas são mais adequadas [19].

Na componente de *software*, aplicações que permitem aos cidadãos acompanhar o seu desempenho, verificar saldos de pontos ou descontos e receber notificações personalizadas são cada vez mais determinantes, sendo aplicações móveis as mais promissoras. Estudos mostram também que a disponibilização de feedback imediato aumenta a probabilidade de manutenção do comportamento correto, criando um efeito de gamificação [16].

Por uma vertente mais gerencial, existe também uma adoção de plataformas digitais centralizadas e *dashboards* integrados. Estas ferramentas tecnológicas dotam as entidades gestoras da **capacidade de monitorizar, processar e gerir um vasto volume de dados em tempo real**. Isto permite o cruzamento de múltiplas métricas de desempenho tais como a produção per capita de resíduos, as taxas de enchimento dos contentores, a eficiência das rotas de recolha e os níveis de participação ativa dos cidadãos, torna-se possível obter uma visão holística e detalhada de todo o ecossistema urbano.

Esta inteligência de dados atua como um catalisador de eficiência em duas frentes cruciais. A curto prazo, confere uma agilidade operacional sem precedentes, permitindo, por exemplo, o reencaminhamento dinâmico das frotas de recolha para esvaziar apenas os contentores que o justificam. Isto minimiza deslocações desnecessárias, otimiza os recursos humanos e reduz significativamente o consumo de combustível e a pegada carbónica associada à operação.

A longo prazo, a recolha contínua destes dados fornece uma base analítica sólida para a tomada de decisões estratégicas. Com base neste histórico, os gestores municipais podem reavaliar políticas públicas, redimensionar infraestruturas no terreno, calibrar os modelos de tarifação e desenhar campanhas de sensibilização altamente direcionadas. Desta forma, assegura-se que o sistema de gestão de resíduos não é



estático, mas sim um modelo evolutivo, sustentável e perfeitamente adaptado às necessidades e comportamentos reais da comunidade.

Fora das tecnologias de visualização e integração, existem avanços significativos por parte da Inteligência Artificial. Algumas destas aplicações constam de modelos de *Deep Learning* (como *CNN* e *YOLO*) para visão computacional, algoritmos de aprendizagem automática (como Redes Neurais Artificiais, *Support Vector Machines* e *Random Forests*) para previsão de geração de resíduos e algoritmos de otimização como o de Colônia de Formigas (*Ant Colony*), *Dijkstra* e *Simulated Annealing* para a logística [19]. O estudo de Fang *et al.* explora **diversas aplicações de Inteligência Artificial, demonstrando benefícios significativos com a aplicação de algoritmos na logística**, com a redução de distâncias de transporte em até 36,8%, os custos em 13,35% e o tempo em 28,22%, na identificação e classificação de resíduos, atingindo níveis de precisão entre 72,8% e 99,95% e, na vertente química, a otimização da conversão de resíduos em energia, a pirólise de plásticos e a estimativa de emissões de carbono. O estudo de Mishra *et al.* também se focou no desenvolvimento de algoritmos, criando **modelos capazes de prever padrões de geração de resíduos com base em dados históricos e fatores demográficos** [19]. Entre os resultados práticos destacados, o estudo aponta para uma precisão superior a 85% na previsão de níveis de acumulação e uma redução de 30% no consumo de combustível e tempo de recolha através da otimização inteligente de rotas.

Esforços para a aplicação destas tecnologias, tanto físicas, como digitais, em contextos reais são notórios. O trabalho de Lu *et al.* conta com a aplicação do **sistema logístico de gestão de enchimento inteligente** em *Pudong*, Xangai [20]. Este serviu como um caso de estudo real para validar o modelo proposto de classificação e recolha de resíduos (SWCCS), contando com uma abrangência de mais de setecentos pontos de recolha de resíduos, oito estações de competência e três estações finais.

Outro projeto que se destaca pela sua abrangência é o *Waste Management 2.0* [21]. Este consistiu no **desenvolvimento e validação de um framework de gestão de resíduos inteligente e holístico**, testado através de estudos-piloto em 10 localizações distintas em Lahore, Paquistão, processando mais de 200 milhões de pontos de dados. A implementação demonstrou benefícios quantificáveis significativos: uma melhoria de 32% na eficiência das rotas, uma redução de 29% no consumo de combustível e emissões de carbono, e um aumento de 33% na capacidade de processamento de resíduos. Além disso, o sistema permitiu uma redução de 18% nos custos de manutenção dos veículos em comparação com as práticas convencionais, provando a sua viabilidade operacional e económica em larga escala.

Em contexto europeu, projetos como o *Circular Economy Waste-Management Pilots*, *Waste4Think Consortium* [22], evidenciam o impacto da tecnologia no terreno e mostram um **esforço no desenvolvimento de padrões abertos de comunicação e integração modular de hardware e software**. O consórcio testou e validou novas tecnologias de informação e infraestruturas, recorrendo a contentores inteligentes e a *software* de otimização de rotas de recolha. Estas implementações alcançaram reduções significativas na geração de resíduos e melhoraram os comportamentos de reciclagem das comunidades envolvidas.

Este projeto também se viu aplicado a Portugal, com Cascais Ambiente como um dos participantes no projeto *Waste4Think*, visando o teste de alternativas mais eficientes ao sistema de tarifação com a metodologia *PAYT*. O trabalho desenvolvido baseia-se na separação obrigatória de bio resíduos, para os quais a Cascais Ambiente faculta gratuitamente sacos específicos e uma chave eletrónica. Esta chave é programada para



identificar cada família e, ao ser utilizada nos contentores, regista a informação numa plataforma inteligente, permitindo monitorizar a frequência de participação. A componente diferenciadora é a aplicação *CityPoints* Cascais, onde os dados de utilização são convertidos em pontos individuais que podem ser trocados por prémios, serviços e experiências. Foi também introduzido um estímulo coletivo onde o montante poupado pelo bairro com a redução de resíduos e o aumento da reciclagem é convertido num benefício para a mesma.

2.4. Modelos de dados, interoperabilidade e plataformas urbanas

Para garantir que os sistemas de reciclagem sejam mais dinâmicos e capazes de se integrar perfeitamente às plataformas urbanas e aos processos já existentes, é imperativo que a sua modelação de dados responda às exigências contemporâneas. O estudo de Cohen e Gil, na sua revisão de literatura, identificou que **a falta de arquiteturas interoperáveis e de padrões técnicos compatíveis é uma barreira para a integração de soluções que contribuam para uma economia circular** [23]. Sendo assim, a construção de modelos de dados que sejam simultaneamente robustos, acessíveis e interoperáveis atua como um pilar para apoiar a transição não só digital, como ecológica do setor.

Neste contexto, esta construção de modelos de dados deve estar alinhada com os princípios da economia circular. Sendo que esta visa alcançar a sustentabilidade através da restrição, redução ou encerramento de ciclos de materiais e energia, é necessário promover o desenvolvimento de modelos de dados que sejam capazes de acompanhar os ciclos de vida de produtos na sua totalidade [24].

Este grande volume de dados faz com que as plataformas digitais precisem de **conseguir integrar, entender e relacionar esta informação e as suas origens**. Promovendo a **capacidade de integração e cooperação entre entidades públicas e privadas**, e garantindo simultaneamente o acesso aberto a esses dados, o que proporciona benefícios económicos concretos. Para além de fomentar a economia circular e fortalecer o envolvimento dos cidadãos, fator essencial para o sucesso de qualquer estratégia ambiental [25].

Um instrumento muito utilizado nestes contextos é o **passaporte digital de produto**. Esta ferramenta permite caracterizar o produto e ao mesmo tempo monitorizar o seu ciclo de vida. É um grande participante na interoperabilidade entre sistemas, característica fundamental neste contexto que garante transparência, rastreabilidade e tomada de decisão [26]. O estudo de Graciano e Ometto [27] mostra a aplicação deste passaporte em sistemas digitais de diferentes empresas e conclui com resultados que demonstram ser uma iniciativa estratégica e viável para alavancar a transição para a economia circular.

Modelos desenvolvidos para harmonizar definições e integrar informação relevante no âmbito da gestão de recursos e desperdícios já existem, como o modelo apresentado em [23]. Estes, no entanto, não são utilizados de maneira standardizada, o que prejudica a interoperabilidade. **A normalização de diretrizes e modelos de dados garante que as soluções tecnológicas não fiquem isoladas**, mas comuniquem em rede, desta maneira, vocabulários comuns e normas universais têm um papel fundamental no impulsionamento da interoperabilidade na economia circular. Mais, **asseguram uma gestão holística do território, permitindo que plataformas municipais de gestão de resíduos consigam integrar dados de diferentes fornecedores de contentores e sensores**, cruzando essas informações com outros serviços urbanos.



No panorama europeu e global, a iniciativa *FIWARE* disponibiliza um catálogo unificado onde residem modelos de dados abertos e interoperáveis. Estes abrangem diversos setores, com uma adoção massiva em soluções de cidades inteligentes [28].

Portugal encontra algum trabalho desenvolvido no que toca a normas e modelos de dados de referência. Um trabalho notável é último esforço da **Agência para a Modernização Administrativa (AMA) denominado ENTI** [29], [30]. O objetivo da ENTI 2023-2030 é capacitar os territórios com soluções inteligentes e conectadas que promovam o desenvolvimento económico, inclusivo e sustentável, assente em serviços interoperáveis centrados nos cidadãos e nas empresas. **A interoperabilidade pretendida deve abranger os níveis municipal, regional e nacional**, assegurando que as plataformas tecnológicas utilizadas pelas entidades públicas seguem um modelo comum, permitindo a integração fácil e eficaz com serviços já existentes e futuros. Atualmente, esta arquitetura encontra-se em consolidação, tendo a sua última versão sido disponibilizada em setembro de 2026 em colaboração com a *FIWARE Foundation*. Este repositório [31] constitui, assim, um ponto de partida fulcral para a definição do modelo de dados do projeto.

2.5. *Blockchain*, contratos inteligentes, segurança e rastreabilidade

Nos últimos anos, a tecnologia **blockchain** tem vindo a ganhar destaque como uma **solução promissora para os desafios de rastreabilidade, transparência e eficiência nos sistemas de gestão de resíduos e cadeias logísticas complexas**. Metodologias como *PAYT* e *RAYT*, com a atribuição de benefícios fiscais ou recompensas diretas, exigem níveis imaculados de proteção contra fraudes e integridade de dados. É neste cenário de crescente necessidade de monitorização segura que a integração de *blockchain* e Contratos Inteligentes assume um papel central.

Embora a adoção destas tecnologias traga benefícios evidentes na confiança e automação, Ongena *et al.* alertam que a *blockchain* e os contratos inteligentes não são uma “bala de prata” [32]. Através de protótipos testados com entidades inspetivas nos Países Baixos, demonstraram que **continuam a existir desafios técnicos, organizacionais e de adoção por parte das autoridades locais**. A sua aplicação deve, portanto, ser direcionada para cenários onde a descentralização traga benefícios claros na redução da carga administrativa e na prevenção de práticas ilegais.

No âmbito específico das recompensas e rastreabilidade robusta baseada em dados, diversas abordagens têm tido sucesso. Akram *et al.* conceberam um **sistema de recompensas automáticas integrando dados de sensores LoRa nos contentores com uma rede blockchain privada** [33]. Através de um mecanismo de “*Trust Points*”, o sistema atribui incentivos em tempo real com base na quantidade de lixo depositado pelos cidadãos, garantindo a imutabilidade e a autenticidade dos dados recolhidos.

Complementarmente, Borandag propôs a plataforma *Recycle Chain*, que alia a *blockchain* (*Ethereum*) à IA (algoritmos de reconhecimento de imagem *YOLO*), códigos QR e sensores *IoT* [34]. O sistema permite classificar os resíduos, validar a ação, calcular depósitos e **emitir tokens digitais, automatizando o ciclo de gamificação** e promovendo a redução da pegada de carbono.

Outro estudo semelhante foi conduzido por Hasan *et al.*, que consistiu no desenvolvimento e estudo de viabilidade da *framework Circulogy* [35]. Este é um **sistema de gestão de resíduos elétricos e eletrónicos, baseado em blockchain, onde cada produto eletrónico possui uma identidade digital única que é convertida num NFT**. É então estabelecido um registo de auditoria imutável para cada transação e mudança de propriedade, garantindo a autenticidade e permitindo o rastreio total do ciclo de vida,



desde o fabrico até aos pontos de recolha e reciclagem. São também incentivados os cidadãos através da atribuição de créditos trocáveis por recompensas quando o descarte é feito corretamente.

Com foco numa perspectiva de inclusão social e financeira, França *et al.* propuseram, no Brasil, o uso de criptomoedas sociais geridas via *Ethereum* para substituir sistemas baseados em cartões físicos e papel em municípios de pequena dimensão [36]. Este modelo **previne fraudes, rastreia fluxos de materiais e recompensa a população local, impulsionando a educação ambiental**. Contudo, as **elevadas taxas operacionais da rede Ethereum** podem ser inoportáveis para estas regiões. Para mitigar esta barreira, Padilha desenvolveu uma plataforma de gestão de Moedas Sociais Digitais ancorada numa blockchain *LPoS (Leased Proof of Stake)*, **uma alternativa de baixo custo que se revelou viável** [37]. Em suma, a adoção desta infraestrutura garante segurança, confiança e escalabilidade quando utilizadas no contexto certo [38].

2.6. Limitações apontadas à revisão de literatura

A revisão de literatura evidencia a disponibilidade de soluções para sensorização, identificação de resíduos, participação dos cidadãos, otimização da recolha e registo de operações em blockchain. Existem igualmente propostas de modelos de dados e experiências que articulam várias destas componentes, como os trabalhos de Cohen e Gil, o projeto *Waste4Think* e a plataforma *Recycle Chain*. Como resume a *Tabela 3*, a lacuna relevante para o R5.0 não reside, portanto, na ausência destas tecnologias ou na inexistência de soluções integradas, mas na **necessidade de estabelecer condições comuns para a sua utilização conjunta por municípios, fornecedores e restantes intervenientes, preservando a interpretação dos dados e a responsabilidade por cada operação**.

Tabela 3 – Síntese das lacunas identificadas na revisão e respetivas implicações para o levantamento de requisitos da R5.0.

Eixo e referências de suporte	Lacuna ou necessidade identificada	Resultado a verificar com o R5.0
Interoperabilidade Cohen e Gil; FIWARE; ENTI/CNMD	A existência de modelos e interfaces não assegura que diferentes fornecedores disponibilizem informação interpretável da mesma forma.	A PIR apresenta informação de diferentes parceiros com critérios comuns e disponibiliza-a à plataforma urbana municipal.
Infraestrutura Kannan; Rahman; Addas	Equipamentos distintos observam variáveis diferentes e não permitem confirmar os mesmos acontecimentos.	Distinguir capacidades, medições, estimativas e dados indisponíveis, incluindo falhas de comunicação e manutenção.
Participação e incentivos Emmanouil; Venturi; Akram	Aceitação e interação digital não são equivalentes a deposição válida nem a benefício corretamente atribuído.	Relacionar sessões, deposições confirmadas e pontos segundo as regras do município. O cidadão compreende os pontos recebido.
Comércio local Waste4Think Cascais; França	A disponibilidade de recompensas não define, por si só, os compromissos do comerciante e de quem financia o benefício.	Cada recompensa tem condições conhecidas e o COM consegue confirmar utilizações e acompanhar os valores que lhe são devidos.
Tarificação e reembolso Reichenbach; Emmanouil; Reloop	Peso, volume, frequência, pontos, descontos e depósitos reembolsáveis não são mecanismos equivalentes.	Especificar a base de cálculo e os limites de cada esquema, distinguindo pontos, benefício tarifário e pagamento.
Rastreabilidade Cohen e Gil; Circulogy; EPCIS	A ligação entre etapas depende da participação das entidades e da informação disponível; a identidade individual pode perder-se após mistura ou transformação.	O percurso conhecido é consultável e as etapas desconhecidas não aparecem como confirmadas. A extensão industrial fica preparada para trabalho futuro.



Eixo e referências de suporte	Lacuna ou necessidade identificada	Resultado a verificar com o R5.0
Custos e inclusão França; Padilha; Rodrigues; Gopalakrishnan	A viabilidade depende dos custos técnicos, do modelo económico e das condições de participação, não apenas da possibilidade de registo em <i>blockchain</i> .	Estabelecer requisitos de custo, continuidade e acesso alternativo, sem exigir ao cidadão ou município domínio de carteiras ou transações <i>blockchain</i> .
Validação e replicabilidade Waste4Think; Kannan; Pohlmeyer	Protótipos, modelos conceptuais e experiências locais não demonstram automaticamente funcionamento noutras configurações municipais.	Definir critérios de aceitação, cenários de exceção e fronteira entre funcionalidades a validar e extensões futuras.

Neste contexto, a interoperabilidade constitui um problema simultaneamente técnico e organizacional. A disponibilização de uma interface de comunicação não assegura que dois fornecedores representem uma deposição, uma recolha ou o estado de um equipamento de forma equivalente. A utilização dos referenciais ENTI e dos modelos nacionais existentes deverá, por isso, ser acompanhada pela definição de requisitos sobre identificação, qualidade, proveniência e acesso à informação. A Plataforma Integradora de Reciclagem é enquadrada como a componente destinada a **articular estes serviços e a disponibilizar aos municípios e à entidade gestora do SIGRE informação coerente, sem exigir a substituição das aplicações e dos sistemas especializados.**

Os mecanismos de incentivo colocam uma necessidade adicional de articulação entre comportamento, evidência e benefício. Os estudos sobre aceitação de *PAYT* e gamificação sustentam a **importância da comunicação, da compreensão das regras e do envolvimento dos participantes**, mas não dispensam a confirmação das ações que originam pontos ou descontos.

A rastreabilidade deverá ser tratada com igual cuidado. O registo em *blockchain* pode contribuir para **preservar a integridade e o histórico da informação**, mas não substitui a validação da fonte nem demonstra, isoladamente, que uma operação física ocorreu. Deverão permanecer distintas as informações sobre deposição, recolha, entrega, tratamento e reciclagem, assim como os resultados declarados e confirmados.

O presente entregável responde a estas necessidades através da identificação dos intervenientes, dos processos de referência, das regras transversais e dos requisitos de utilização e funcionamento da solução. Não apresenta ainda a arquitetura nem os modelos de dados, mas estabelece as condições que deverão orientar a sua definição posterior, tanto para a PIR como para a componente *blockchain*. O desenvolvimento e a validação concentram-se na Cadeia de Reciclagem Urbana e na sua ligação à recolha e transporte. A Cadeia de Materiais e Valorização é considerada no mapeamento das relações e necessidades de rastreabilidade, preparando a expansão futura sem a apresentar como uma cadeia já implementada ou validada pelo projeto.



3. Enquadramento Operacional e Requisitos dos Intervenientes no Ecossistema R5.0

O presente capítulo estabelece o **enquadramento operacional necessário à definição dos requisitos da plataforma R5.0**. Para esse efeito, são identificados os principais intervenientes do ecossistema, os respetivos papéis, responsabilidades e relações de governação, considerando tanto a plataforma integradora, como a aplicação para o cidadão e/ou operadores e a componente de rastreabilidade *blockchain*.

São igualmente definidos os processos de referência e os princípios operacionais que deverão ser preservados ao longo do desenvolvimento da solução, assegurando uma interpretação comum do funcionamento esperado do ecossistema. Com base neste enquadramento, são posteriormente sistematizados os requisitos de utilizador associados a cada tipo de interveniente, servindo de base à especificação dos requisitos funcionais apresentada nos capítulos seguintes.

Esta definição procura assegurar que a futura plataforma, concebida como uma **infraestrutura aberta, interoperável e reutilizável por diferentes municípios, operadores, fornecedores tecnológicos** e restantes entidades do ecossistema, responda de forma coerente às necessidades dos seus utilizadores e permita a evolução posterior para modelos de dados, serviços e mecanismos de integração normalizados.

Para melhor entendimento deste e dos subseqüentes capítulos, é recomendada a leitura e consulta do *Glossário* apresentado no início deste documento.

3.1. Intervenientes e governação

A definição dos intervenientes constitui o primeiro passo para estabelecer o enquadramento operacional da plataforma Reciclagem 5.0. A solução é concebida para suportar um **ecossistema multi-entidade, no qual diferentes organizações públicas e privadas participam em diferentes momentos do ciclo de gestão de resíduos**, desde a disponibilização da infraestrutura de deposição e identificação do cidadão até à recolha, transporte, tratamento, valorização e atribuição de incentivos.

3.1.1. Catálogo de intervenientes

O catálogo de intervenientes apresentado na *Tabela 4* identifica os principais tipos de entidades que poderão participar no ecossistema Reciclagem 5.0 e estabelece os respetivos papéis de referência. Este catálogo é definido numa **perspetiva funcional**, não devendo existir uma correspondência obrigatória entre um papel e uma entidade específica.

Assim, uma mesma entidade poderá assumir vários papéis no ecossistema, enquanto um determinado papel poderá ser desempenhado por várias entidades distintas. Por exemplo, o fabricante de um contentor, o fornecedor dos sensores instalados, o operador responsável pela sua manutenção e o fornecedor da interface de dados ou API poderão corresponder a organizações diferentes. Da mesma forma, um estabelecimento comercial poderá simultaneamente disponibilizar recompensas, produzir resíduos não domésticos ou funcionar como ponto de devolução, sem que estas funções impliquem os mesmos direitos de acesso, responsabilidades ou níveis de participação na plataforma.

Esta separação entre **entidade** e **papel** permite acomodar diferentes modelos municipais, fornecedores tecnológicos e configurações operacionais, reduzindo dependências relativamente a soluções específicas e favorecendo a replicabilidade da plataforma em diferentes territórios. Serve igualmente de base à definição posterior dos



requisitos de utilizador, das regras de governação e dos mecanismos de autorização aplicáveis a cada tipo de interveniente.

Tabela 4 – Listagem dos intervenientes da R5.0 identificados, as suas responsabilidades e multiplicidade.

Código / interveniente	Responsabilidade e informação trocada	Multiplicidade / fronteira de acesso
MUN Município ou entidade gestora mandatada (1 p/Domínio)	Define as regras aplicáveis ao serviço municipal de resíduos no território, incluindo condições de participação, acesso, tarifação, incentivos e campanhas. Acompanha a operação, consulta indicadores de desempenho e acede à informação necessária à gestão e fiscalização do serviço.	Existe uma entidade responsável pelo serviço em cada domínio territorial, podendo existirem diferentes departamentos, serviços municipais ou entidades delegadas. O acesso encontra-se limitado ao território, serviços e utilizadores sob a sua responsabilidade.
INF Fornecedor de infraestrutura e/ou dados (1..*)	Disponibiliza, opera e mantém contentores, dispositivos de acesso, sensores, equipamentos IoT e/ou plataformas tecnológicas associadas. Fornece informação sobre os equipamentos, estado operacional, telemetria, acessos, deposições e outros dados necessários à integração e monitorização do serviço.	Podem coexistir vários fornecedores no mesmo território. Cada fornecedor acede apenas aos equipamentos, dados e operações pelos quais é responsável, salvo quando exista autorização explícita para partilha ou integração com outros sistemas.
CID Cidadão, representante e agregado familiar (1..*)	Utiliza o serviço municipal de resíduos, realiza deposições, consulta o seu histórico de utilização e acompanha os benefícios, pontos, descontos ou encargos associados. Pode gerir os seus meios de acesso e reportar problemas relacionados com o serviço ou com a infraestrutura.	Um agregado pode estar associado a vários utilizadores e a vários meios de acesso. O utilizador, o agregado familiar, o contrato municipal e o cartão ou credencial de acesso são elementos distintos, ainda que possam estar relacionados.
COM Comércio local / parceiro de recompensas (1..*)	Disponibiliza produtos, serviços, descontos ou outras vantagens que podem ser obtidos através dos mecanismos de recompensa do sistema. Define as condições das ofertas, valida a utilização das recompensas e recebe a informação necessária à sua gestão e eventual compensação financeira ou comercial.	Podem participar vários estabelecimentos ou entidades comerciais. O parceiro apenas necessita de consultar a informação necessária para validar e gerir as recompensas, não tendo acesso ao histórico de deposições ou a outros dados pessoais do cidadão que não sejam necessários à transação.
TRP Recolha e transporte de resíduos (1..*)	Planeia e executa operações de recolha e transporte. Regista recolhas realizadas, contentores ou pontos intervencionados, cargas transportadas, origem e destino dos resíduos e ocorrências verificadas durante o serviço.	A recolha pode ser assegurada diretamente pelo município ou contratada a um ou vários operadores, por zona, fluxo de resíduos ou período contratual. Cada operador acede apenas às operações e informação necessárias à execução do serviço atribuído.
REC Centros de reciclagem e tratamento de resíduos (1..*)	Recebe os resíduos provenientes das operações de recolha e regista a sua entrada, pesagem, triagem, tratamento, valorização, reciclagem, rejeição ou encaminhamento subsequente. Produz evidência sobre as quantidades recebidas e os resultados do tratamento.	Podem existir várias instalações e operadores ao longo da cadeia de tratamento. Deve distinguir-se a entidade responsável pela gestão do sistema da instalação física onde uma determinada operação é realizada.
FAB Fabricante de materiais e embalagens (1..*)	Produz materiais ou embalagens que entram na cadeia de valor e utiliza matéria-prima secundária proveniente de processos de reciclagem. Pode fornecer informação sobre a composição, características relevantes, quantidade produzida e incorporação de material reciclado, quando essa informação seja necessária para efeitos de rastreabilidade ou report.	Podem participar vários fabricantes em diferentes etapas da cadeia. Apenas é partilhada a informação necessária à rastreabilidade, conformidade ou demonstração de circularidade, não estando em causa a divulgação de formulações, processos produtivos ou outra informação industrial confidencial.



Código / interveniente	Responsabilidade e informação trocada	Multiplicidade / fronteira de acesso
EMB Embalador / importador (1..*)	Embala ou acondiciona o produto, garantindo que o conjunto produto-embalagem cumpre os requisitos necessários para a sua distribuição no mercado. Fornece informação sobre o produto, a embalagem, o lote e as quantidades embaladas ou importadas.	Podem existir vários embaladores ou importadores ao longo da cadeia. Cada entidade acede e fornece apenas a informação relativa aos produtos, embalagens e lotes sob a sua responsabilidade.
DIS Distribuidor, retalhista e logística comercial (1..*)	Assegura a movimentação e disponibilização de produtos ao longo da cadeia comercial. Quando relevante para a rastreabilidade, pode registar expedições, receções, devoluções ou disponibilização de produtos e embalagens.	Podem existir múltiplos distribuidores, operadores logísticos e retalhistas entre a produção e o consumidor final. A rastreabilidade comercial não deve implicar a identificação do consumidor final ou ato de venda para consumo.
SGR Entidade gestora do SIGRE (1)	Gere responsabilidades associadas às embalagens colocadas no mercado e acompanha os fluxos de distribuição e reciclagem abrangidos pelo sistema. Recebe e relaciona informação proveniente dos diferentes intervenientes para efeitos de financiamento e cumprimento de metas.	Podem existir diferentes entidades gestoras ou sistemas consoante o fluxo de resíduos, o regime aplicável e os contratos existentes. A Sociedade Ponto Verde constitui um exemplo de entidade gestora no contexto do SIGRE.
TEC Técnicos de manutenção e apoio R5.0 (1..*)	Assegura o funcionamento técnico da plataforma integradora e da infraestrutura blockchain, incluindo integração entre sistemas, gestão de interfaces e conectores, manutenção, escalabilidade, monitorização e suporte aos restantes intervenientes. Não é um interveniente obrigatório.	O acesso administrativo encontra-se limitado às funções necessárias à operação técnica da solução. A administração da plataforma não atribui, por si só, autoridade para alterar regras municipais, benefícios, tarifas ou dados de outras entidades.

3.1.2. Organização, relações e escalabilidade

Uma vez identificados os intervenientes da R5.0, importa estabelecer uma organização operacional que permita compreender de forma clara as relações entre eles e, posteriormente, traduzir essas relações em requisitos para a plataforma. Para esse efeito, **o ecossistema é organizado em duas cadeias os complementares: a Cadeia de Reciclagem Urbana (URB) e a Cadeia de Materiais e Valorização (CMV).** A Figura 2 tenta representar esta organização.

Esta separação não pretende dividir o sistema em duas plataformas independentes. Trata-se de uma forma de distinguir dois contextos com responsabilidades e objetivos diferentes. O primeiro concentra-se na prestação do serviço municipal de resíduos e na relação direta com o cidadão; o segundo acompanha o percurso dos resíduos, materiais, embalagens e produtos ao longo da cadeia de tratamento, valorização e distribuição. O operador de recolha e transporte (TRP) estabelece a principal ligação entre ambos, uma vez que transforma uma deposição realizada no contexto urbano num fluxo físico que passa a ser movimentado entre instalações e operadores.

De forma **transversal aos dois domínios encontram-se a Entidade Gestora do SIGRE (SGR) e os operadores técnicos da R5.0 (TEC).** A SGR acompanha o funcionamento global do sistema a uma escala superior à operação municipal individual, relacionando informação sobre colocação no mercado, recolha, tratamento, reciclagem e cumprimento de metas. O TEC, por sua vez, assegura a operação técnica, manutenção e evolução da plataforma, disponibilizando mecanismos de integração, documentação e suporte às entidades participantes, sem assumir as responsabilidades de negócio ou de governação próprias de cada uma.

A Plataforma R5.0 constitui a camada comum de integração entre estes intervenientes. Embora algumas das suas funções sejam particularmente relevantes para o MUN e para a



SGR, a plataforma deve permitir que cada participante produza e consulte a informação necessária ao desempenho do seu papel, dentro das respetivas fronteiras de acesso. A componente *blockchain* complementa esta infraestrutura enquanto mecanismo de rastreabilidade e prova para os acontecimentos que justificam um registo verificável. Os intervenientes não necessitam, por isso, de escrever diretamente na rede *blockchain*: produzem acontecimentos e evidências através dos sistemas que utilizam, cabendo à plataforma validar, relacionar e, quando aplicável, registar a respetiva prova na rede.

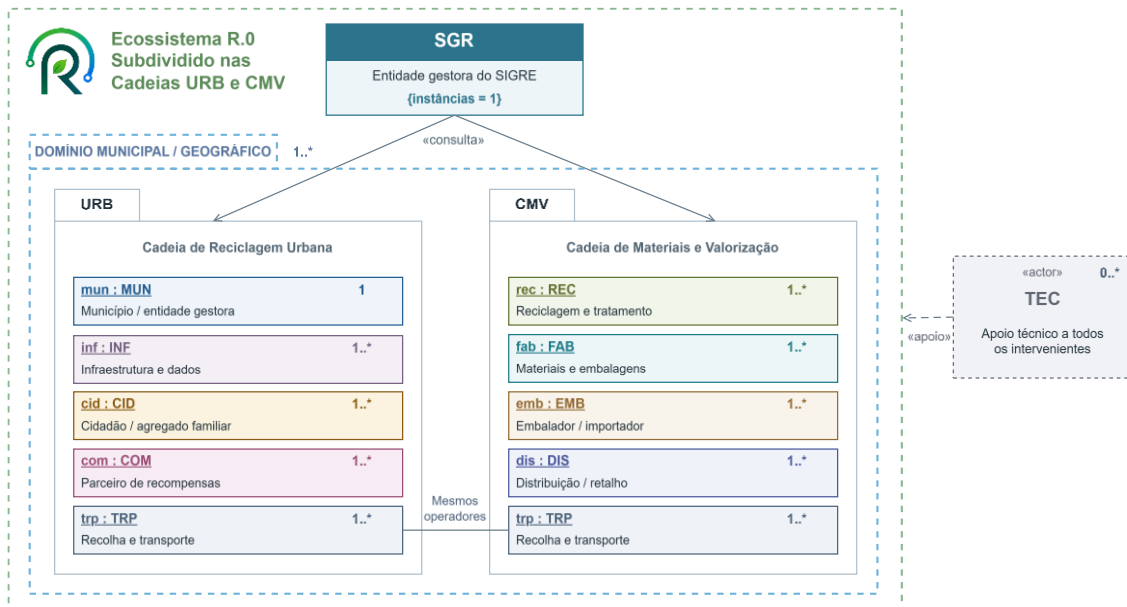


Figura 2 – Representação organizacional do ecossistema R5.0 e dos seus intervenientes, subdividido nas cadeias de reciclagem urbana e de materiais e valorização, com recurso a um diagrama UML de Classes.

Cadeia de Reciclagem Urbana

A URB compreende os intervenientes diretamente associados à prestação e utilização do serviço municipal de resíduos: **MUN, CID, INF, TRP e COM**. Como mostra a *Figura 3*, é nesta cadeia que se encontram as funções com maior relevância para a implementação e validação da R5.0, nomeadamente identificação e acesso aos equipamentos, deposição de resíduos, recolha, tarifação, incentivos, recompensas, comunicação com o cidadão e monitorização da infraestrutura.

A **unidade de governação proposta para este domínio é o MUN**. Para cada domínio territorial e período de vigência deverá existir uma **única entidade responsável** ativa pelo serviço. Esta regra não implica a existência de um único utilizador administrativo, fornecedor de infraestrutura, operador de recolha ou componente tecnológica; significa apenas que deve existir uma autoridade claramente identificada para definir e aplicar as regras do serviço naquele território.

O MUN poderá delegar ou contratar diferentes componentes da operação. Um ou vários INF podem disponibilizar contentores, sensores, controlos de acesso ou serviços de dados; diferentes TRP podem executar recolhas por zona ou por fluxo de resíduos; e vários COM podem integrar programas de recompensas. Essas entidades mantêm autonomia operacional dentro das responsabilidades que lhes foram atribuídas, enquanto o MUN conserva a responsabilidade pela configuração e acompanhamento do serviço municipal.

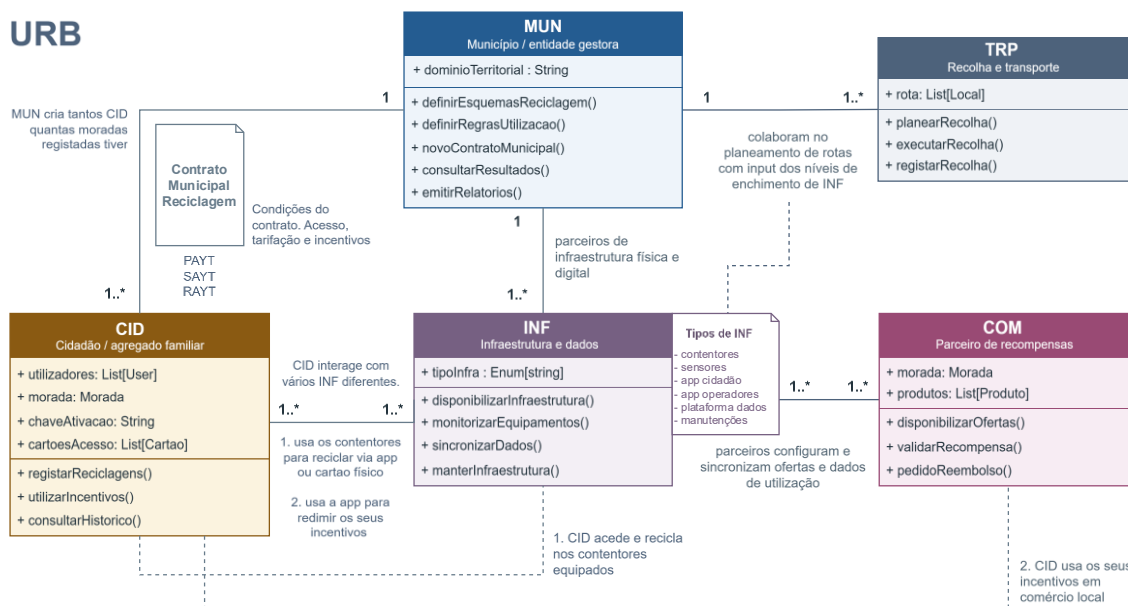


Figura 3 – Representação organizacional da cadeia URB e dos seus intervenientes, com recurso a um diagrama UML de Classes.

A relação entre o MUN e o CID assume especial importância. Para efeitos funcionais da R5.0, cada morada deverá estar associada ao respetivo serviço municipal através de um contrato municipal de serviço de resíduos assinado entre o município e os residentes, permitindo determinar as condições de acesso, as regras tarifárias aplicáveis e os mecanismos de incentivo disponíveis. Esta relação deve permitir associar, de forma controlada, a utilização do serviço às deposições efetuadas e aos respetivos efeitos em modelos PAYT, SAYT ou RAYT.

Do lado do MUN, isto implica disponibilizar as condições do serviço, aplicar de forma transparente as regras definidas e reconhecer corretamente as ações realizadas pelo cidadão. Do lado do CID, implica utilizar o serviço nas condições estabelecidas, proceder à separação adequada dos resíduos e cumprir as obrigações associadas ao serviço municipal. O ecossistema **Plataforma R5.0 - Aplicação para o Cidadão** deve tornar esta relação verificável e compreensível para ambas as partes, evitando que a determinação de encargos ou benefícios dependa de informação pouco clara ou difícil de consultar.

É também no URB que se concentram os **mecanismos que procuram alterar diretamente o comportamento do cidadão**: tarifação de resíduos indiferenciados, sistemas de pontos e recompensas, atribuição de descontos ou poupanças, integração com comércio local, informação sobre impacto, campanhas de sensibilização e canais de comunicação entre município e cidadão. Neste sentido, a cadeia urbana constitui o principal mecanismo de incentivo à separação na origem, da qual depende a qualidade das fases subsequentes de recolha, tratamento e valorização.

Cadeia de Materiais e Valorização

A **CMV** compreende principalmente os intervenientes **TRP, REC, FAB, EMB e DIS**. Ao contrário da cadeia urbana, não existe aqui uma única entidade com autoridade sobre a totalidade do processo. **A responsabilidade encontra-se distribuída entre diferentes organizações**, cada uma responsável pelas operações que executa e pela informação que produz. A *Figura 4* tenta representar esta organização da melhor forma.

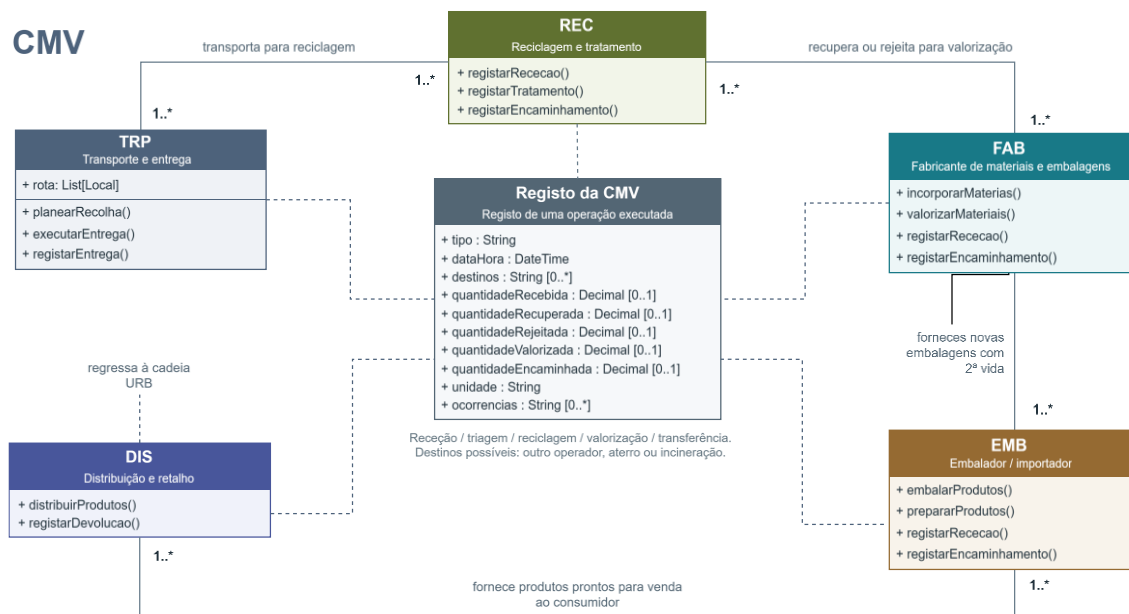


Figura 4 – Representação organizacional da cadeia CMV e dos seus intervenientes, com recurso a um diagrama UML de Classes.

O TRP assegura a transição entre os dois domínios ao retirar os resíduos dos pontos de recolha e entregá-los às instalações seguintes. A partir desse momento, o REC recebe, pesa, tria e encaminha os materiais, podendo estes seguir para reciclagem, outras formas de valorização ou descarte (aterro ou incineração). Quando o processo de reciclagem permite recuperar matéria-prima secundária, esta pode regressar à cadeia industrial através do FAB, sendo posteriormente utilizada na produção de novos materiais que darão vida a novas embalagens/produtos.

A cadeia prossegue através do EMB, responsável pelo emabalamento e preparação dos produtos, e do DIS, que assegura a sua movimentação e disponibilização ao mercado. O consumo, separação e recolha subsequentes voltam a ligar esta cadeia à cadeia URB, fechando potencialmente o ciclo.

A utilização da palavra “potencialmente” é relevante. A R5.0 não deve assumir que todo o material colocado no mercado é corretamente separado, recolhido, reciclado e reincorporado. Um sistema de rastreabilidade credível deve ser capaz de representar igualmente perdas de material, contaminações, rejeitados, encaminhamentos alternativos, transferências entre instalações, misturas de diferentes origens, devoluções ou reutilização. A ausência de um resultado circular é também informação relevante e não deve ser ocultada pelo modelo.

Coordenação transversal: SGR e TEC

A SGR encontra-se numa posição transversal relativamente às duas cadeias. O seu papel não consiste em substituir a governação municipal nem a responsabilidade operacional das restantes entidades, mas em relacionar informação proveniente das várias etapas da cadeia e acompanhar o desempenho do sistema a uma escala agregada. A informação produzida deverá permitir apoiar processos de financiamento, avaliação de resultados, acompanhamento de metas e identificação de oportunidades de melhoria.

Também o TEC assume uma função transversal, embora exclusivamente de natureza tecnológica. Cabe-lhe assegurar que a infraestrutura digital necessária ao funcionamento da R5.0 permanece disponível, documentada, interoperável e evolutiva. A



administração técnica da plataforma não transfere para o TEC as competências de decisão pertencentes ao MUN, à SGR ou aos restantes intervenientes.

A plataforma integradora e a componente blockchain devem, por isso, suportar uma estrutura de governação na qual quem opera a tecnologia, quem produz a informação, quem a valida e quem toma decisões sobre o serviço são papéis distintos, ainda que em determinados contextos possam ser desempenhados pela mesma organização.

Crescimento horizontal e expansão circular

A arquitetura organizacional deverá permitir que o ecossistema cresça sem exigir a redefinição das suas regras fundamentais.

O **crescimento horizontal** ocorre quando são acrescentadas novas instâncias de intervenientes já existentes (novos parceiros). Um novo fornecedor de sensores, operador de recolha, estabelecimento comercial, instalação de tratamento ou mesmo um novo município deve poder integrar a plataforma através das mesmas regras de participação, isolamento e interoperabilidade. Uma mesma organização pode também participar em vários domínios ou desempenhar mais de um papel, desde que os direitos e responsabilidades correspondentes sejam mantidos separados.

No caso de agrupamentos ou serviços intermunicipais, a plataforma deverá permitir a partilha de recursos e operações sem eliminar a fronteira de governação de cada domínio. Em particular, a existência de uma estrutura federada não deverá resultar em duas entidades com autoridade simultânea para definir tarifas ou regras incompatíveis para o mesmo serviço, território e período.

A **expansão circular**, por sua vez, corresponde ao aprofundamento progressivo da rastreabilidade ao longo da cadeia de materiais. A plataforma poderá começar por acompanhar deposições, recolhas e tratamento e, à medida que existam dados e entidades disponíveis, incorporar novas etapas relacionadas com produção de materiais, embalagem, distribuição, reutilização, reciclagem e reincorporação industrial.

Esta expansão deve partir do princípio de que **a cadeia real de resíduos não corresponde a um percurso ideal e invariável**. Materiais podem ser misturados ou separados novamente; uma carga pode ser transferida entre operadores; uma instalação pode rejeitar parte do material recebido; um resíduo pode seguir para valorização diferente da inicialmente prevista; embalagens podem ser reutilizadas; e diferentes municípios podem partilhar instalações ou circuitos de tratamento.

Por esse motivo, **a R5.0 não deverá codificar uma sequência rígida de acontecimentos** nem assumir antecipadamente o resultado final de um material. **A plataforma deverá ser suficientemente flexível** para representar percursos alternativos, exceções e mudanças de destino, preservando simultaneamente a origem da informação e a responsabilidade de quem declarou cada acontecimento.

Assim, esta capacidade de evolução é particularmente importante para uma plataforma concebida como infraestrutura aberta e reutilizável. A escalabilidade da R5.0 não depende apenas de suportar mais utilizadores ou mais dispositivos; depende também da capacidade de incorporar progressivamente novas entidades, novas relações e novas etapas de circularidade sem comprometer os dados e processos já existentes.

3.1.3. Responsabilidade sobre a informação

A operação da plataforma R5.0 envolve informação produzida e utilizada por diferentes intervenientes ao longo do serviço municipal de resíduos e da cadeia de materiais e valorização. Neste contexto, **é necessário distinguir a responsabilidade** pela informação,



associada à entidade que a produz, declara ou mantém, dos **direitos de acesso**, que podem ser atribuídos a outras entidades de acordo com o seu papel, âmbito de atuação e finalidade.

A plataforma deverá preservar a proveniência dos dados e impedir que a integração entre sistemas elimine a responsabilidade de cada interveniente sobre a informação que fornece. Paralelamente, deverá assegurar que os restantes participantes conseguem consultar a informação necessária ao exercício das suas funções, **respeitando as fronteiras de cada Domínio municipal**, as relações contratuais existentes e os princípios de minimização e controlo de acesso.

O MUN assume, na URB, uma posição privilegiada de acesso à informação necessária à gestão, monitorização e fiscalização do serviço. A SGR necessita igualmente de acesso a informação proveniente de diferentes etapas da cadeia, sobretudo para acompanhamento dos fluxos, resultados e metas do SIGRE. Este acesso não transfere, contudo, a responsabilidade pelos dados, por exemplo: uma recolha continua a ser declarada pelo TRP, uma operação de tratamento pelo REC e a telemetria de um equipamento pelo respetivo INF.

A *Tabela 5* resume as principais responsabilidades e regras de acesso à informação consideradas para a R5.0.

Tabela 5 – Listagem das principais responsabilidades, regras e diferenças nos de acessos a informação por tipologia e domínio.

Domínio de informação	Fonte / responsável	Entidades com acesso	Regra de controlo
Regras do serviço, participação e tarifação	MUN	MUN; CID nas condições que lhe são aplicáveis; SGR para consulta e comparação de resultados entre MUNs	As regras são definidas e aprovadas pelo MUN. A plataforma executa a configuração aprovada, mas não altera autonomamente tarifas, critérios ou condições do serviço.
Equipamentos, sensores, estado e telemetria	INF	MUN; INF sobre os seus equipamentos; TRP para planeamento de rotas via sensores de enchimento	A origem dos dados deve permanecer identificada. O MUN determina quais os equipamentos e sistemas reconhecidos no seu domínio.
Utilizador, agregado, contrato e meios de acesso	MUN TEC/INF se autorizado para registo do utilizador	MUN; CID sobre os seus próprios dados; TEC apenas para suporte técnico autorizado	Identidade, contrato municipal e credenciais de acesso são elementos distintos. O contrato é estabelecido entre município e morada.
Deposições e utilização dos pontos de recolha de resíduos	INF	MUN; SGR; CID relativamente à sua atividade	Cada registo deve preservar a origem, o momento e o mecanismo utilizado para registar a ação. Um acesso ou abertura de equipamento é diferente de uma deposição válida.
Pontos, benefícios e recompensas	R5.0 (regras definidas pelo MUN)	MUN; CID; COM apenas no necessário à utilização da recompensa; SGR em formato adequado ao acompanhamento	Deve existir um único registo operacional dos movimentos a registar na <i>blockchain</i> . O COM não pode criar ou alterar pontos, apenas registar transações.
Tarifa, desconto, faturação e pagamento	MUN R5.0 (regras definidas)	MUN; CID reativo ao seu histórico PAYT/SAYT; SGR em formato adequado ao acompanhamento	Um benefício calculado ou solicitado pela R5.0 só é considerado aplicado após confirmação pelo sistema responsável pela faturação.



Domínio de informação	Fonte / responsável	Entidades com acesso	Regra de controlo
Recolha e transporte	TRP	MUN; SGR; TRP; REC relativamente às entregas que lhe são destinadas	O TRP é responsável pelas operações que declara. Alterações ou correções devem preservar o registo original e a respetiva proveniência.
Receção, triagem, tratamento e reciclagem	REC	SGR; REC; TRP relativamente às entregas efetuadas; FAB quando recebe materiais resultantes do processo	O REC confirma o que efetivamente recebe e processa. Diferenças entre quantidades expedidas, recebidas e tratadas devem permanecer identificáveis.
Produção e incorporação de materiais reciclados	FAB	SGR; FAB; REC pelo encaminhamento dos materiais; EMB quando recebe embalagens resultantes do processo	O fabricante é responsável pela informação que declara sobre produção, composição e incorporação de matéria-prima secundária.
Produto, embalagem e lote	EMB	SGR; EMB; FAB pelo encaminhamento das embalagens; DIS quando recebe produtos resultantes do processo	A informação deve acompanhar o produto e a embalagem apenas com a granularidade necessária à rastreabilidade e às obrigações aplicáveis.
Distribuição e movimentação comercial	DIS	SGR; DIS; EMB pelo envio para distribuição dos produtos; COM quando recebe os produtos para venda	Devem ser registadas as movimentações relevantes para a rastreabilidade, sem necessidade de identificar o consumidor final ou o ato individual de venda.
Ofertas e utilização de recompensas	COM	MUN; COM dentro das recompensas que apresenta; CID relativo ao seu histórico RAYT	O COM define e valida as suas ofertas, mas não tem acesso ao histórico de reciclagem do cidadão nem pode alterar o respetivo saldo.
Provas e registos blockchain	R5.0 Plataforma, App Cidadão, App Operadores	Todas as entidades (direta ou indiretamente) de acordo com o seu papel e hierarquia	O registo em <i>blockchain</i> comprova a existência e integridade da evidência registada, mas não altera a entidade responsável pelo acontecimento ou dado de origem.

3.2. Processos de referência e regras transversais

A identificação dos intervenientes e das respetivas responsabilidades permite estabelecer um conjunto de processos de referência que descrevem como se espera que o **ecossistema R5.0** funcione nos **principais cenários de utilização**. Estes processos não pretendem definir uma implementação técnica específica, mas sim estabelecer uma interpretação comum das interações entre cidadãos, municípios, fornecedores tecnológicos, operadores de recolha, instalações de tratamento, comércio local e restantes participantes.

Os processos de referência são particularmente importantes num ecossistema distribuído, no qual uma mesma operação pode envolver vários sistemas e entidades. A identificação de uma deposição, por exemplo, pode começar num equipamento de um fornecedor, ser relacionada com um cidadão pela plataforma R5.0, originar um incentivo definido pelo município e gerar posteriormente uma prova de rastreabilidade. Cada uma destas etapas tem uma responsabilidade distinta e pode ocorrer em momentos diferentes.

Para além do percurso esperado, importa considerar desde logo **situações de exceção**. Falhas de comunicação, eventos atrasados, diferenças de pesagem, equipamentos com diferentes capacidades, alterações contratuais ou indisponibilidade temporária de serviços externos não podem comprometer a consistência global do



sistema. Por esse motivo, os processos seguintes descrevem simultaneamente o percurso de referência e as principais situações que a plataforma deverá ser capaz de acomodar.

3.2.1. Processos de referência

Os processos foram definidos a partir das interações consideradas mais relevantes para o funcionamento da R5.0. Alguns correspondem diretamente à URB, nomeadamente a adesão, deposição, atribuição de incentivos e utilização de recompensas. Outros asseguram a continuidade do fluxo de materiais através da CMV, desde a recolha até ao tratamento e eventual reincorporação por processos industriais e logísticos.

Os diagramas UML associados deverão complementar a descrição textual, privilegiando diagramas de sequência quando o objetivo é evidenciar a interação temporal entre sistemas e intervenientes e diagramas de atividade quando é mais importante representar decisões, alternativas e fluxos operacionais.

Adesão e associação ao serviço

A participação de um cidadão no R5.0 começa pela sua associação a um serviço municipal de resíduos, tal como representado na *Figura 5*. Esta associação deverá permitir determinar o município ou domínio responsável, as condições do serviço, os mecanismos de acesso disponíveis e as regras de tarifação ou incentivo aplicáveis.

O processo não deve assumir a existência obrigatória de uma aplicação móvel. Um agregado pode utilizar diferentes meios de identificação e acesso, como **cartões RFID/NFC** ou outras credenciais disponibilizadas pelo serviço. Da mesma forma, a substituição ou perda de uma credencial não deverá alterar a identidade do utilizador, o contrato associado ou o respetivo histórico.

A ativação deverá resultar de uma relação válida com o serviço municipal ou, em contexto experimental, de uma relação explicitamente identificada como piloto ou simulação.

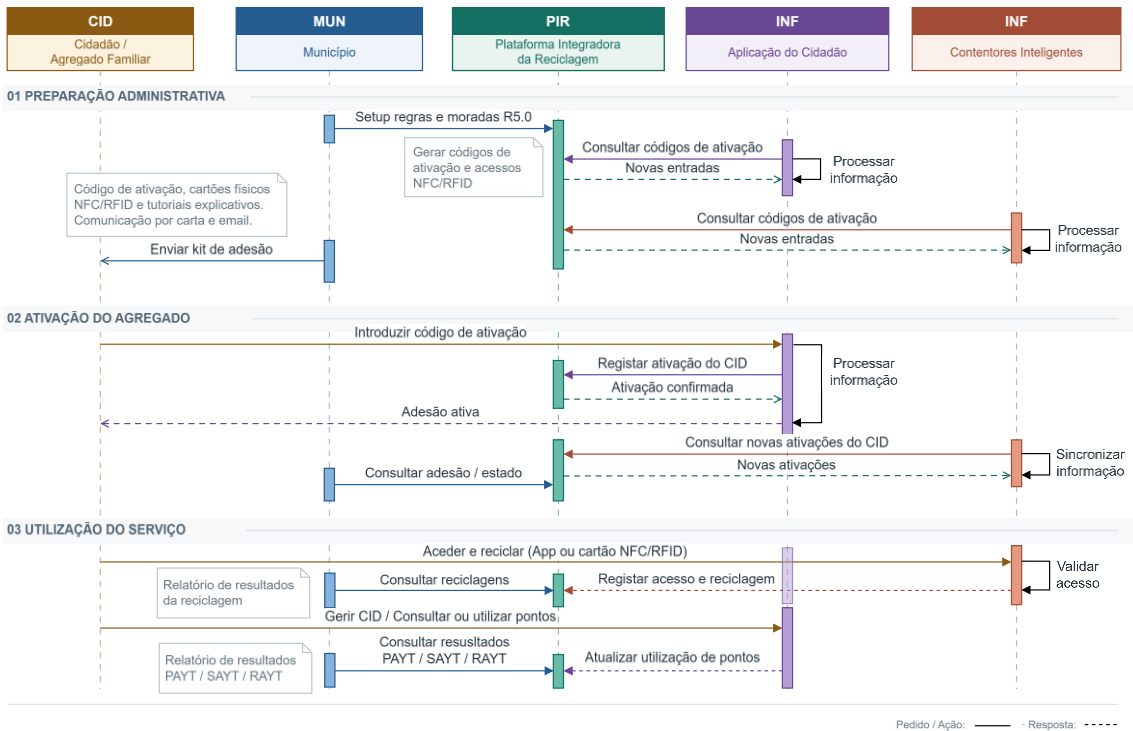


Figura 5 – Representação do processo de adesão ao R5.0, com recurso a um diagrama UML de Sequência.

Deposição, validação e atribuição de incentivo

A deposição constitui um dos processos centrais da R5.0. O processo inicia-se quando o cidadão interage com um ponto de recolha e o sistema recebe evidências provenientes da infraestrutura disponível. Dependendo do equipamento, estas evidências podem incluir autenticação do utilizador, abertura do contentor, deteção do resíduo, peso, volume, leitura de código ou outros elementos. Estes detalhes foram ilustrados, tanto quanto possível, pela *Figura 6*.

A plataforma deverá distinguir claramente uma **interação com o equipamento** de uma **deposição confirmada**. A autenticação do utilizador, a abertura de uma tampa ou a proximidade ao contentor são elementos de contexto, mas não constituem isoladamente prova de que ocorreu uma deposição.

Após validação das evidências disponíveis, a R5.0 determina se o acontecimento é elegível para algum mecanismo de incentivo. A regra aplicável deverá estar identificada e versionada, permitindo relacionar qualquer atribuição de pontos, desconto ou outro benefício com a deposição que lhe deu origem.

O processo deve continuar a funcionar mesmo quando determinados serviços não estão momentaneamente disponíveis. Por exemplo, uma falha temporária de comunicação com a componente *blockchain* não deverá provocar a perda da deposição nem a repetição do incentivo quando a comunicação for restabelecida.

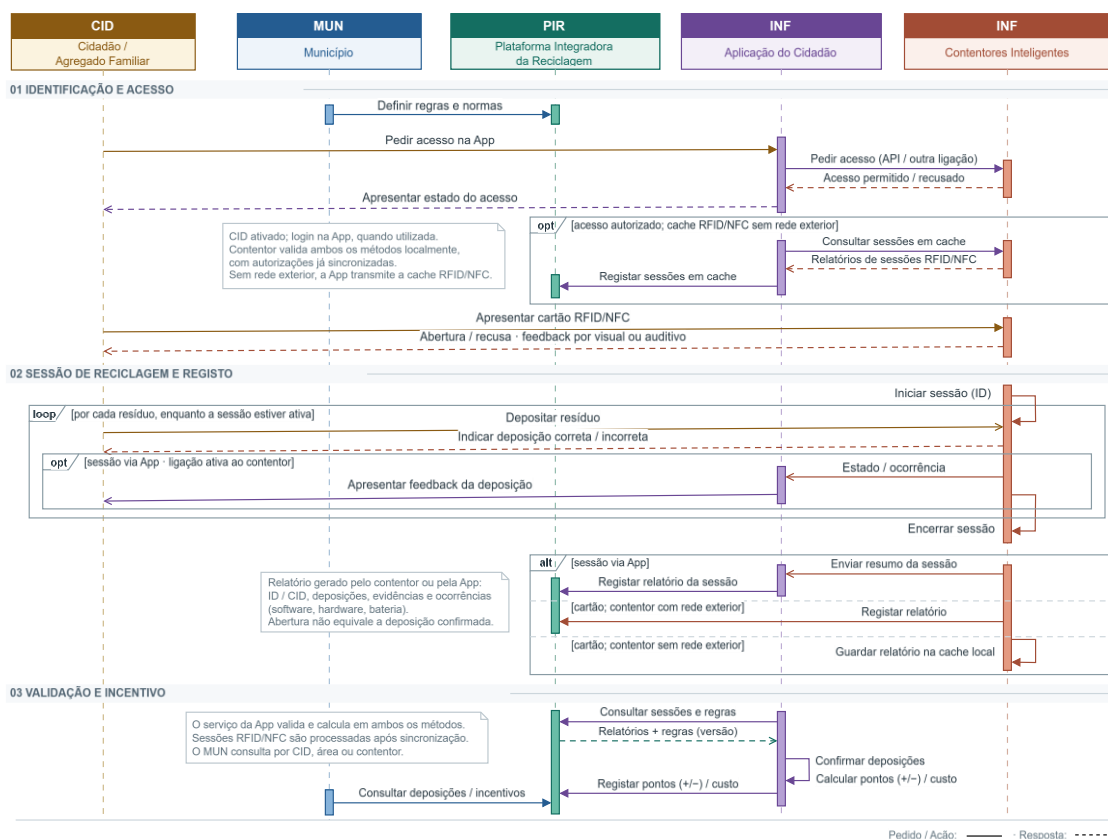


Figura 6 – Representação do processo de reciclagem no R5.0, com recurso a um diagrama UML de Sequência.

Recompensas e benefícios tarifários

Os incentivos atribuídos no domínio urbano podem materializar-se de diferentes formas. No modelo *RAYT*, os pontos acumulados podem ser utilizados em recompensas disponibilizadas por parceiros comerciais. No modelo *SAYT*, a atividade de reciclagem

pode resultar numa proposta de benefício a refletir no serviço municipal de resíduos. A *Figura 7* representa através de um diagrama este processo.

No caso das recompensas, a R5.0 deverá verificar simultaneamente a disponibilidade da oferta e o saldo elegível do cidadão antes de iniciar a utilização. Sempre que necessário, o valor deverá ser temporariamente reservado até que o comércio confirme a utilização da recompensa. A confirmação final determina a concretização do movimento.

No caso de benefícios tarifários, a plataforma poderá determinar a elegibilidade e calcular o benefício de acordo com as regras municipais, mas **não substitui o sistema responsável pela faturação**. A aplicação efetiva do desconto deverá ser confirmada pelo sistema municipal ou de faturação competente.

Assim, esta distinção permite que o mesmo sistema de incentivos suporte diferentes mecanismos económicos sem confundir pontos, recompensas comerciais e movimentos financeiros reais.

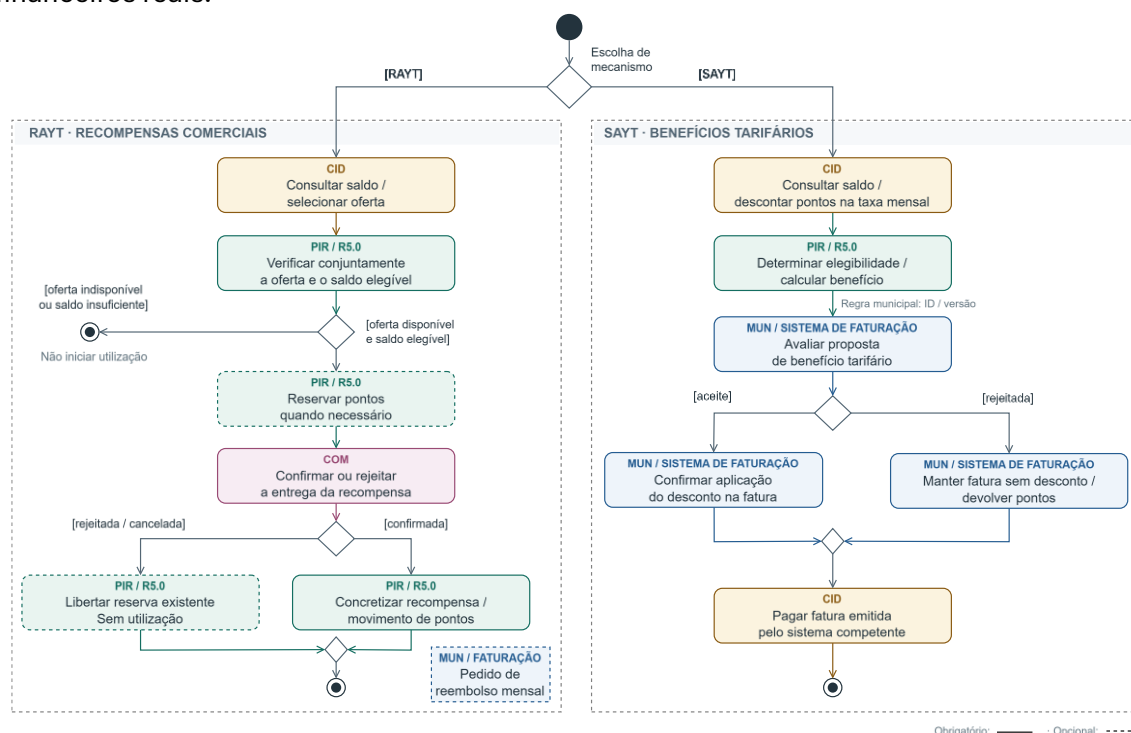


Figura 7 – Representação do processo de atribuição e utilização de recompensas e benefícios RAYT/SAYT no ecossistema R5.0, com recurso a um diagrama UML de Atividade.

Recolha, transporte e tratamento

A **recolha marca a transição entre a cadeia URB e a CMV**. O TRP regista o levantamento dos resíduos e a respetiva associação à rota, veículo ou carga utilizada. Os materiais são posteriormente transportados para uma instalação de destino, onde o REC regista a sua receção e dá continuidade ao processo de triagem e reciclagem. Este processo é apresentado sobre a forma de um diagrama de atividade na *Figura 8*.

Os valores registados no momento da recolha e da receção não devem ser considerados necessariamente idênticos. Diferenças de peso, recolhas parciais, transferências, mistura de materiais, alterações de destino ou outros acontecimentos operacionais podem originar divergências legítimas que deverão permanecer visíveis.

Após a receção, o REC regista as operações de triagem, tratamento, reciclagem, valorização ou rejeição realizadas. O resultado deste processo deverá distinguir

claramente as quantidades recebidas das quantidades efetivamente recuperadas, rejeitadas ou encaminhadas para outros destinos.

O objetivo não é produzir artificialmente uma cadeia perfeita, mas permitir reconstruir de forma credível o percurso conhecido dos materiais.

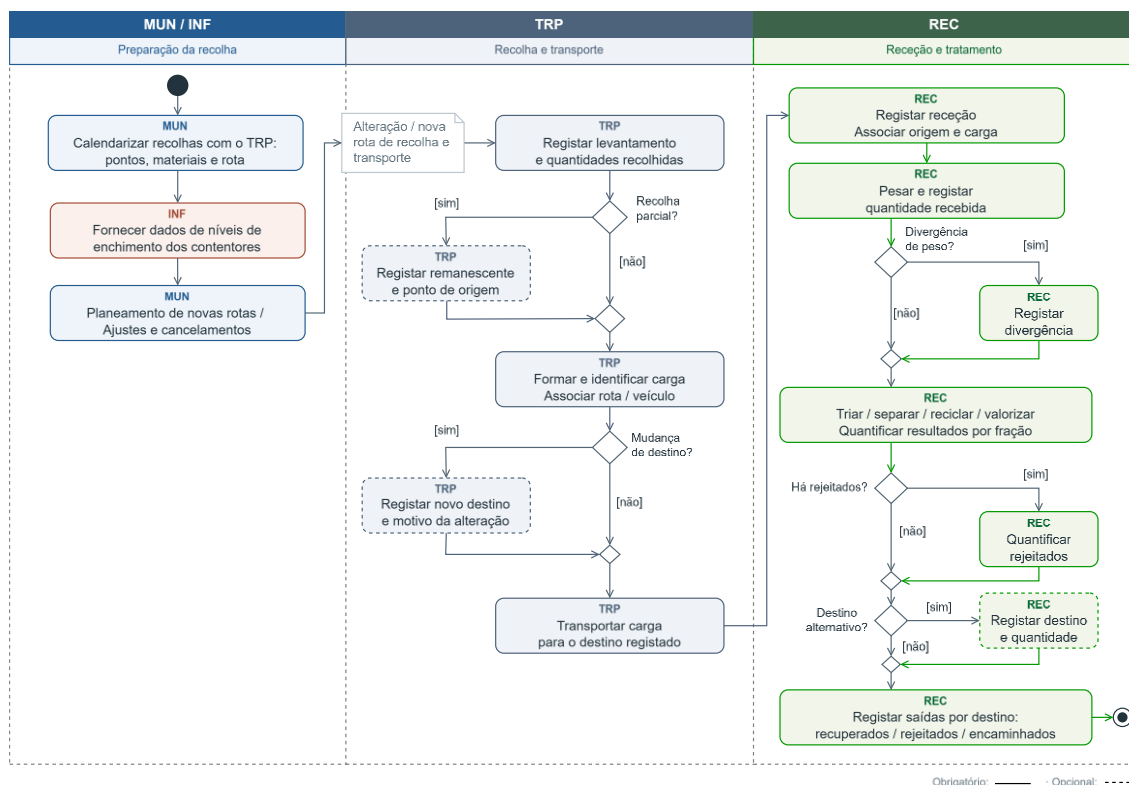


Figura 8 – Representação do processo de recolha, transporte e tratamento de resíduos no ecossistema R5.0, com recurso a um diagrama UML de Atividade.

Para além dos processos diretamente associados aos fluxos de resíduos e incentivos, a operação depende de **processos de suporte**. **Alertas podem ser originados automaticamente pelos equipamentos ou reportados por cidadãos e operadores**, devendo ser encaminhados para a entidade responsável, acompanhados até à resolução e encerrados com indicação da intervenção realizada.

A **integração de novos parceiros (horizontal) e/ou intervenientes (circular)** deverá ser igualmente tratada como um processo controlado. Antes da entrada em produção, os sistemas deverão ser identificados, testados e associados às capacidades que efetivamente disponibilizam e verificados os acessos aos dados que lhes competem. Estes processos de suporte permitem que a plataforma evolua progressivamente sem assumir que todos os parceiros ou territórios possuem as mesmas capacidades.

Os processos descritos anteriormente correspondem aos principais fluxos operacionais sobre os quais o projeto R5.0 incide diretamente e que serão objeto de especificação e validação prioritária, **em particular na cadeia URB e na transição para as etapas de recolha e tratamento**. Ainda assim, a plataforma integradora e a componente *blockchain* deverão ser **dimensionadas desde a origem para suportar também a evolução da rastreabilidade ao longo da CMV**, incluindo relações com FAB, EMB e DIS. Tal como previsto, esta extensão não será validada de forma completa no âmbito dos demonstradores atuais, ficando sobretudo mapeada ao nível dos intervenientes, relações, eventos e requisitos de integração, de modo a assegurar que a solução desenvolvida não



limita futuras implementações de rastreabilidade mais abrangentes ao longo do ciclo dos materiais.

A *Tabela 6* resume os processos identificados, o respetivo percurso de referência e as principais exceções que deverão ser contempladas na especificação funcional.

Tabela 6 – Síntese dos Processos de Referência (PR) da plataforma R5.0, incluindo o percurso operacional esperado e as principais exceções a considerar.

Código / processo	Percurso de referência	Principais exceções a considerar
PR01 Adesão e autorização	O MUN valida a associação ao serviço; o CID associa a conta e os meios de acesso; a chave é ativada com âmbito e validade definidos.	Participação em piloto, utilizador sem smartphone, mudança de agregado, credencial perdida/revogada, chave expirada ou inválida.
PR02 Deposição e validação	O INF reporta a interação e os dados recolhidos pelos seus equipamentos; a R5.0 relaciona o evento com o utilizador e determina se confirma a deposição.	Abertura sem deposição, várias deposições numa sessão, falta de uma medição, evento atrasado/offline, duplicado ou suspeito.
PR03 Atribuição de pontos	A R5.0 atribui pontos ao CID pelas deposições válidas, de acordo com as regras definidas pelo MUN. Os pontos podem ser usados em RAYT ou PAYT/SAYT.	Deposição inválida, sessão incompleta, evento duplicado, falha de comunicação ou limite de pontos atingido.
PR04 Recompensa local RAYT	O CID seleciona uma recompensa; a R5.0 verifica o saldo e a disponibilidade; o COM valida a utilização e confirma a entrega do benefício.	Pontos insuficientes, oferta expirada ou esgotada, falha de validação, cancelamento ou devolução dos pontos.
PR05 Benefício tarifário PAYT/SAYT	A R5.0 calcula o benefício com base na atividade do CID e nas regras do MUN; o sistema municipal aplica o desconto ou ajustamento correspondente.	Contrato inelegível, período fechado, limite atingido, dados ainda por validar ou rejeição pelo sistema municipal.
PR06 Recolha e transporte	O TRP executa a recolha, forma a carga e transporta os resíduos; o REC confirma a receção e respetiva pesagem.	Recolha parcial, mistura de materiais, mudança de destino, diferença entre valores de expedição e receção ou transferência intermédia.
PR07 Triagem e reciclagem	O REC regista os materiais recebidos, as operações realizadas e os resultados obtidos, incluindo materiais recuperados, rejeitados e outros destinos.	Material em processamento, resultado ainda não determinado, perdas, amostragem de qualidade ou balanço ainda não fechado.
PR08 Continuidade do ciclo de materiais	FAB, EMB e DIS registam, quando aplicável, produção, embalagem e circulação dos materiais ou produtos associados.	Etapa não digitalizada, entidade não participante, informação apenas por lote, reutilização ou informação comercial não partilhável.
PR09 Ocorrência e manutenção	Um alerta é criado, classificado, atribuído, intervencionado e encerrado pela entidade responsável. CID ou operadores MUN podem dispor estes alertas.	Alerta duplicado, falso positivo, falha de comunicação, reabertura ou indisponibilidade prolongada do equipamento.
PR10 Integração de parceiros	MUN/SGR/TEC e novo parceiro alinham dependências, identificam necessidades, testam interfaces e dados e autorizam a entrada em produção.	Campos ou modelos desconhecidos, identificadores em conflito, alteração incompatível da interface ou substituição/saída do fornecedor.

3.2.2. Regras transversais e invariantes operacionais

Os processos anteriores pressupõem um conjunto de regras que devem permanecer válidas independentemente do município, fornecedor tecnológico ou configuração concreta da solução. **Estas regras procuram eliminar ambiguidades** que, se não forem explicitamente tratadas, podem originar interpretações diferentes entre componentes e intervenientes.

Incluem-se neste conjunto princípios relacionados com a validação dos acontecimentos, medição física, gestão de incentivos, comunicação entre sistemas,



correções, rastreabilidade de materiais, controlo de acesso e continuidade operacional. As regras apresentadas na *Tabela 7* não substituem os requisitos funcionais e não funcionais apresentados posteriormente. Funcionam antes como restrições transversais que esses requisitos deverão respeitar.

Tabela 7 – Regras de Negócio (RN) transversais e invariantes operacionais a preservar no funcionamento, integração e evolução da plataforma R5.0.

Código	Área	Regra a preservar
RN01	Validação da deposição	Uma autenticação, abertura de contentor, ligação BLE, leitura RFID/NFC, deteção GPS ou outro sinal isolado não constitui, por si só, uma deposição confirmada.
RN02	Idempotência	O mesmo acontecimento de origem não pode produzir repetidamente o mesmo efeito de negócio. Reenvios ou duplicados técnicos não podem gerar pontos, descontos ou operações adicionais.
RN03	Medição	Peso, volume, número de unidades e frequência são grandezas distintas. Qualquer conversão ou estimativa deve identificar o método utilizado.
RN04	Qualidade de medição	Medições utilizadas para tarifação, incentivos ou <i>report</i> devem identificar unidade, origem e, quando aplicável, incerteza da medição.
RN05	Gestão de saldo	Pontos reservados, pendentes ou já utilizados não integram o saldo disponível. Operações concorrentes não podem utilizar o mesmo saldo duas vezes, quer na atribuição, quer na transação.
RN06	Penalizações	Um débito ou penalização associado a resíduos indiferenciados só pode resultar de uma regra autorizada e previamente definida. Uma falha técnica não pode originar automaticamente uma penalização.
RN07	Separação financeira	A conta de pontos ou recompensas é distinta da conta de faturação municipal. Um movimento de pontos não equivale a um pagamento, crédito financeiro ou alteração de fatura.
RN08	Versionamento das regras	A elegibilidade de uma ação deve ser avaliada de acordo com a regra e autorização válidas no momento relevante do acontecimento, preservando a versão utilizada.
RN09	Correções	Uma correção não elimina silenciosamente o acontecimento anterior. Deve ser registada como correção, anulação ou substituição relacionado com o registo original. Deve ser apresentada uma justificação para a correção.
RN10	Proveniência	Cada acontecimento deve permitir identificar a entidade e o sistema que o produziram. A integração pela R5.0 não elimina a responsabilidade da fonte.
RN11	Identificação de eventos	Os acontecimentos devem possuir identificadores que permitam distinguir vários tipos de eventos, reenvios, erros ou correções.
RN12	Tempo	Sempre que relevante, devem distinguir-se o momento em que o acontecimento ocorreu e o momento em que foi recebido pela plataforma. A ordem de receção não pode ser assumida como ordem física.
RN13	Comunicação	Perdas temporárias de conectividade devem poder ser recuperadas através de armazenamento, reenvio ou reconciliação sem duplicar os efeitos de negócio. Aplica-se a todos os serviços do ecossistema (modo <i>offline</i>).
RN14	Capacidades de equipamentos	A integração de um dispositivo não pressupõe capacidades que este não possui. As funcionalidades disponíveis devem resultar do perfil e das medições efetivamente suportadas pelo equipamento.
RN15	Alteração de equipamentos	A substituição de um equipamento ou fornecedor não deve sobrescrever o histórico do ativo anterior nem reutilizar identificadores de forma ambígua.
RN16	Rastreabilidade física	Após a transformação dos materiais, não deve ser mantida uma rastreabilidade individual que já não possa ser fisicamente demonstrada. A rastreabilidade deve passar de unidades para lotes ou quantidades.
RN17	Informação em falta	A ausência de dados sobre uma etapa não constitui prova de que essa etapa ocorreu. A plataforma não deverá criar acontecimentos físicos por inferência.
RN18	Acesso à informação	A existência de dados na R5.0 não implica acesso universal. Dados pessoais, operacionais, comerciais e públicos devem possuir níveis de acesso adequados ao papel de cada interveniente.

Código	Área	Regra a preservar
RN19	Blockchain	Um registo ou prova em <i>blockchain</i> demonstra a existência e integridade da informação registada, mas não comprova, por si só, a veracidade física da medição ou do acontecimento que lhe deu origem.
RN20	Continuidade do serviço	A indisponibilidade de mecanismos de recompensa, análise ou registo <i>blockchain</i> não deve impedir o acesso a um serviço essencial de deposição quando este possa tecnicamente continuar a funcionar.

3.3. Requisitos dos utilizadores

Os requisitos dos utilizadores estabelecem o que cada interveniente pode fazer, consultar ou comprovar através da solução R5.0. Abrangem a **Plataforma Integradora de Reciclagem (PIR)**, a **Aplicação do Cidadão (AC)**, a **Aplicação para Operadores (AO)** e a **componente blockchain**, considerando tanto a utilização dos serviços como a integração dos sistemas que os disponibilizam. A *Figura 9* representa, de forma geral, estas interações.

A organização dos requisitos acompanha a distinção entre a URB e a CMV. MUN, INF, CID e COM são apresentados no contexto URB; o TRP dispõe de uma secção própria pela sua intervenção na recolha de URB e na entrega à CMV. Os requisitos comuns a REC, FAB, EMB e DIS são reunidos numa única tabela. SGR e TEC são considerados intervenientes transversais aos dois domínios.

As necessidades de cada interveniente não pressupõem a utilização direta da plataforma integradora. O cidadão utiliza sobretudo a aplicação do cidadão e os meios de acesso aos contentores; os operadores e comerciantes utilizam aplicações adequadas às suas funções; os fornecedores integram equipamentos e serviços através das interfaces disponibilizadas. A **PIR estabelece a ligação entre estas componentes e a PU municipal, permitindo disponibilizar a gestão de resíduos como um serviço integrado no conjunto dos serviços municipais**. A componente *blockchain* suporta o registo e a consulta de evidências, sem exigir que os utilizadores interajam diretamente com a rede.

O desenvolvimento e a validação concentram-se na URB e na sua ligação à recolha e transporte. Os requisitos da CMV destinam-se ao mapeamento da futura extensão da plataforma e da *blockchain*, não correspondendo a um compromisso de validação operacional dessa cadeia no presente projeto.

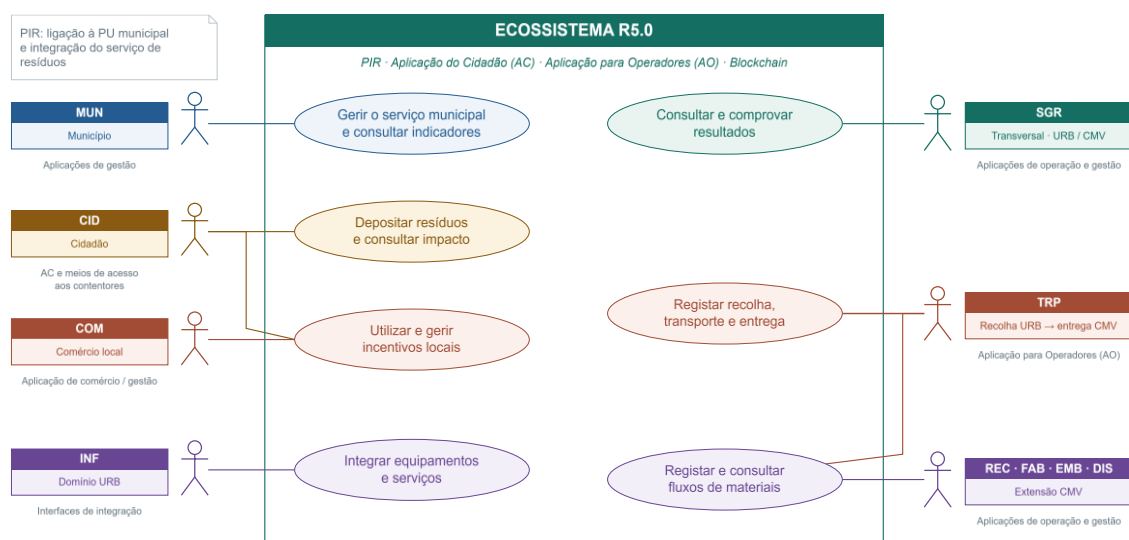


Figura 9 – Visão geral das interações essenciais de cada utilizador/parceiro, representadas através de um diagrama UML de Casos de Uso.



3.3.1. Município ou entidade gestora (URB)

O MUN necessita de gerir o serviço de resíduos a partir de informação integrada, independentemente dos fornecedores envolvidos. Através das interfaces de gestão municipal conectadas à PIR deverá conseguir acompanhar a operação, configurar as condições de participação e os incentivos e consultar os respetivos resultados. A *Tabela 8* reúne estes requisitos a serem disponibilizados ao MUN via PIR e AO.

Tabela 8 – Requisitos de utilizador do município ou entidade gestora na cadeia URB.

ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação
RU-MUN-01 · M	Criar e ativar novos contratos municipais com CID, articulando os meios de acesso e serviços disponibilizados pelos INF.	Criar contratos, associar o CID e respetivos meios de autenticação e confirmar a sua ativação na infraestrutura aplicável.
RU-MUN-02 · M	Gerir a participação de cidadãos CID e parceiros INF, TRP, COM, identificando os serviços, equipamentos e autorizações associados a cada um.	Identificar quem utiliza um serviço, quem o presta e quem responde por cada equipamento ou operação.
RU-MUN-03 · M	Definir, alterar e simular regras de atribuição e utilização de pontos nos mecanismos RAYT e PAYT/SAYT.	Comparar os pontos e encargos resultantes de diferentes regras, sem alterar saldos ou faturas reais durante a simulação.
RU-MUN-04 · M	Acompanhar o estado da infraestrutura, as recolhas e as deposições dos cidadãos. Identificar necessidades de intervenção.	Consultar enchimento, alertas, recolhas e atividade por zona, período e tipo de resíduo, distinguindo resultados confirmados de informação ainda pendente.
RU-MUN-05 · M	Solicitar intervenções de manutenção aos INF responsáveis pelos equipamentos ou serviços municipais.	Abrir um pedido associado ao recurso afetado, encaminhá-lo para o INF responsável e acompanhar o seu estado até à resolução.
RU-MUN-06 · O	Articular os benefícios calculados pela R5.0 com o sistema municipal de faturação, quando esteja prevista a sua aplicação real.	Consultar a taxa a pagar ou benefícios solicitados e a confirmação ou rejeição pelo sistema municipal.
RU-MUN-07 · M	Consultar e gerir informação de diferentes parceiros através do serviço R5.0 integrado na plataforma urbana municipal.	Consultar dados e atividade de dois parceiros com o mesmo perfil de intervenção na mesma interface, de forma unificada.
RU-MUN-08 · O	Divulgar avisos e campanhas aos cidadãos e acompanhar a participação nos programas municipais de reciclagem.	Publicar uma campanha na aplicação do cidadão e consultar a adesão e os resultados registados durante o período definido.
RU-MUN-09 · O	Adicionar ou substituir um parceiro sem perder os dados, as regras e o histórico necessários à continuidade do serviço.	Manter acessíveis os registos anteriores e continuar a operação após a integração do novo prestador.

3.3.2. Fornecedores de infraestrutura e serviços digitais (URB)

O perfil INF abrange fornecedores com responsabilidades distintas: contentores, manutenção, sensores, recolha e análise de dados ou aplicações para cidadãos e parceiros comerciais/operadores. Estes serviços podem ser prestados por entidades diferentes e associados à mesma infraestrutura municipal. Os requisitos da *Tabela 9* aplicam-se à componente fornecida por cada entidade, não exigindo que um fornecedor disponibilize todas as capacidades do ecossistema. O fornecimento de uma aplicação ou serviço também não atribui, naturalmente, a administração global da R5.0, tratada no perfil TEC. A INF é o único interveniente que não assume, na maioria dos casos, um papel de utilizador das ferramentas do ecossistema, atuando essencialmente como fornecedor de



infraestrutura e/ou prestador de serviços. Ainda assim, deverá poder aceder à PIR, de forma controlada, para validar os dados e serviços que disponibiliza ao MUN, CID, TRP e SGR e responder a pedidos manutenção, alertas ou possíveis erros.

Tabela 9 – Requisitos de utilizador dos fornecedores de infraestrutura e serviços digitais.

ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação
RU-INF-01 · O	Dispor de documentação, exemplos e testes para integrar os seus equipamentos ou serviços com a R5.0.	Testar a integração e identificar os ajustes necessários antes de utilizar dados de produção.
RU-INF-02 · M	Integrar apenas a(s) componente(s) que fornece, podendo associá-la a equipamentos ou serviços de outros parceiros.	Associar um contentor a sensores, app cidadão e manutenção de fornecedores distintos, mantendo identificada a responsabilidade de cada um.
RU-INF-03 · M	Acompanhar o estado dos recursos sob a sua responsabilidade e, quando contratado para manutenção, gerir as intervenções necessárias.	Consultar um alerta, registar a intervenção e disponibilizar ao MUN o estado atualizado dos equipamentos/serviços.
RU-INF-05 · M	Sincronizar dados e eventos entre diferentes parceiros INF e com os serviços utilizados por CID e TRP, garantindo a articulação parceiros.	Uma deposição registada por sensores de um INF fica disponível na aplicação do CID e pode ser relacionada com a recolha e transporte efetuada pelo TRP.
RU-INF-06 · M	Recuperar os registos produzidos pelo seu equipamento ou serviço durante uma falha de comunicação.	Sincronizar os registos após o restabelecimento da ligação, sem perder a origem nem duplicar deposições ou outros acontecimentos.
RU-INF-07 · M	Atualizar a sua integração e prestar serviços a vários municípios, mantendo separados os dados e as autorizações de cada Domínio.	Atualizar uma integração sem alterar os dados de outro município nem interromper os serviços não abrangidos pela alteração.

3.3.3. Cidadão e agregado familiar (URB)

Os requisitos do CID incidem na utilização do serviço e na compreensão dos benefícios associados à separação de resíduos. A AC deverá reunir o acesso ao serviço municipal, o histórico das sessões, os pontos, as recompensas e a comunicação com o município. Esta perspetiva acompanha as funcionalidades de participação previstas para a aplicação e para o *EcoHub* municipal. A *Tabela 10* inclui também meios alternativos de participação para quem não utiliza um *smartphone*.

Tabela 10 – Requisitos de utilizador do cidadão e do agregado familiar.

ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação
RU-CID-01 · M	Associar-se ao serviço de reciclagem municipal via chave de ativação através da AC ou de um meio alternativo (<i>web</i>).	Criação de conta e sucesso na ativação do agregado. Verifica acesso a um contentor INF com a aplicação ou cartão NFC/RFID.
RU-CID-02 · M	Consultar as deposições válidas de cada sessão e os pontos atribuídos segundo as regras do MUN.	Visualizar as deposições registadas, os pontos recebidos e o motivo de uma deposição não ter sido contabilizada.
RU-CID-03 · M	Trocar pontos por recompensas RAYT, conhecendo o custo em pontos, as condições e a disponibilidade.	Selecionar e utilizar uma recompensa, consultar o comprovativo e verificar a atualização do saldo.
RU-CID-04 · M	Consultar os encargos do serviço PAYT/SAYT e utilizar pontos previstos pelo MUN para descontar sobre a TGR.	Distinguir a poupança estimada, o desconto solicitado e o desconto confirmado pelo sistema municipal, quando aplicável.



ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação
RU-CID-05 · M	Resolver problemas de acesso ou de registo, incluindo perda de cartão, mudança de agregado e deposições incorretamente contabilizadas.	Pedir a substituição de uma credencial ou a revisão de uma sessão e acompanhar a resolução, preservando o histórico autorizado.
RU-CID-06 · O	Conhecer e gerir a utilização dos seus dados, sem expor o seu histórico a outros cidadãos ou comerciantes.	Consultar as condições de utilização dos dados e verificar que outros CID e COM não têm acesso aos seus dados de reciclagem.
RU-CID-07 · O	Receber orientações e avisos do município e participar em desafios que incentivem a separação de resíduos.	Consultar campanhas, acompanhar o progresso nos desafios e receber informação sobre alterações ao serviço.
RU-CID-08 · O	Reportar erros e problemas na infraestrutura física ou digital, pedir apoio, esclarecer dúvidas e aceder a conteúdos de orientação ou formação.	Submeter um pedido associado ao problema, acompanhar o respetivo estado e consultar informação de apoio adequada à situação.
RU-CID-09 · M	Consultar o histórico de recompensas resgatadas e gerar códigos de utilização para levantar produtos físicos em COM aderentes.	Consultar recompensas já utilizadas e gerar um código válido, único e verificável pelo COM para resgate presencial.

3.3.4. Comércio local e parceiros de recompensas (URB)

O COM necessita de uma interface para gerir a sua participação, disponibilizar ofertas e confirmar a utilização de recompensas. Para tal deve existir uma AO dedicada a este perfil. A integração com a aplicação do cidadão deverá permitir apresentar as mesmas condições e disponibilidade em ambos os canais. A *Tabela 11* inclui a consulta das utilizações e das compensações previstas no acordo.

Tabela 11 – Requisitos de utilizador do comércio local e dos parceiros de recompensas.

ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação
RU-COM-01 · M	Aderir ao programa municipal conhecendo as condições de participação e quem suporta o custo das recompensas.	Consultar o acordo aplicável ao estabelecimento, incluindo compromissos, limites e eventuais compensações.
RU-COM-02 · M	Publicar e gerir ofertas com apoio do MUN, indicando o custo em pontos, a quantidade disponível, a validade e as condições de utilização.	Criar, atualizar ou suspender uma oferta e verificar a informação apresentada na aplicação do cidadão.
RU-COM-03 · M	Validar e entregar uma recompensa de forma simples, impedindo a reutilização do mesmo comprovativo.	Confirmar uma entrega e receber uma indicação de erro numa segunda tentativa com o mesmo comprovativo.
RU-COM-04 · M	Consultar as recompensas entregues e as compensações devidas ao seu estabelecimento, quando previstas.	Comparar utilizações e compensações por período, sem acesso ao histórico de deposições dos cidadãos.
RU-COM-05 · O	Renovar ou terminar a participação sem perder informação sobre recompensas e compromissos ainda pendentes.	Encerrar a disponibilização de novas ofertas e consultar as utilizações ou compensações que permanecem por resolver.

3.3.5. Recolha e transporte de resíduos (URB-CMV)

O TRP necessita de utilizar informação da INF para preparar as recolhas e de devolver informação sobre o serviço realizado. Uma AO ou o sistema de gestão de frota, fornecido por um parceiro INF ou pelo próprio TRP, deverá permitir consultar dados dos contentores, acompanhar rotas e registar recolhas e entregas através da integração com a R5.0. Estes requisitos dão continuidade às necessidades de planeamento, execução e comprovação da entrega já identificadas.



A *Tabela 12* distingue o registo do transportador da confirmação de receção pelo REC. Esta confirmação deverá ter origem no destinatário; quando a sua integração não seja validada no projeto, os testes deverão identificar expressamente a utilização de confirmações simuladas.

Tabela 12 – Requisitos de utilizador da recolha e transporte na ligação entre URB e CMV.

ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação
RU-TRP-01 · M	Planear e ajustar rotas com base na localização, enchimento e acessibilidade dos contentores e nos veículos disponíveis.	Preparar uma rota utilizando dados fornecidos pelos INF e identificar os pontos, resíduos e destinos previstos.
RU-TRP-02 · M	Registar as recolhas realizadas, incluindo recolhas parciais, pontos não servidos e problemas encontrados.	Comparar a rota prevista com a execução e disponibilizar ao MUN e aos INF autorizados os resultados da recolha.
RU-TRP-03 · O	Identificar a origem, o tipo, a quantidade e o destino dos resíduos de cada carga, com pesagem individual dos contentores (opcional).	Distinguir quantidades estimadas pelo TRP, das deposições registadas pelos equipamentos <i>IoT</i> dos INF, ou ainda dos resíduos recebidos nos REC.
RU-TRP-04 · M	Comprovar a entrega ao REC e esclarecer diferenças entre os resíduos transportados e os recebidos.	Consultar o registo de entrega, a confirmação ou pendência da receção e as diferenças comunicadas pelo destinatário.
RU-TRP-05 · M	Registar o serviço durante falhas de rede e conservar os comprovativos de transporte e entrega.	Sincronizar as operações sem duplicação e consultar os comprovativos associados, incluindo a evidência registada em <i>blockchain</i> .

3.3.6. Intervenientes da Cadeia de Materiais e Valorização (CMV)

Os requisitos de REC, FAB, EMB e DIS são agrupados por seguirem uma necessidade comum: registar a receção, a operação realizada e o encaminhamento para a etapa seguinte. A operação corresponde, consoante o interveniente, à triagem ou tratamento, ao fabrico, ao embalamento ou à distribuição. Cada entidade deverá poder fornecer estes registos através do seu sistema ou de uma interface de operação, associando-lhes evidência na componente *blockchain*, disponibilizando, assim, todos estes eventos e dados à PIR.

A *Tabela 13* define os requisitos comuns para essa extensão. A sua inclusão destina-se ao mapeamento da plataforma integradora e da *blockchain* para trabalho futuro, sem validação operacional da CMV no âmbito do presente projeto. As evidências indicadas representam, por isso, os resultados esperados numa implementação futura.

Tabela 13 – Requisitos de utilizador comuns a REC, FAB, EMB e DIS para a futura extensão à CMV.

ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação esperada
RU-CMV-01 · M	Registar a receção de resíduos, materiais, embalagens ou produtos, identificando a origem e as quantidades recebidas.	Consultar a receção associada ao envio anterior, incluindo diferenças, rejeição parcial ou falta de informação do remetente.
RU-CMV-02 · M	Registar a operação realizada e o respetivo resultado, relacionando os materiais ou produtos recebidos com as saídas.	Consultar o tratamento, fabrico, embalamento ou distribuição efetuados e as quantidades resultantes, incluindo perdas e rejeitados quando aplicável.
RU-CMV-03 · M	Registar o encaminhamento para a entidade seguinte, identificando o que foi enviado, a quantidade e o destino.	Relacionar a expedição com a posterior confirmação de receção, mantendo visíveis entregas pendentes e alterações de destino.



ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação esperada
RU-CMV-04 · M	Consultar e partilhar evidências de receção, operação e encaminhamento através da plataforma e da componente <i>blockchain</i> .	Recuperar a sequência conhecida dos registos, identificar os respetivos declarantes e disponibilizar apenas a informação autorizada.

3.3.7. Entidade gestora do SIGRE (URB e CMV)

A SGR necessita de uma visão conjunta dos territórios e das etapas abrangidas pelo sistema, sem substituir os registos dos intervenientes que executam cada operação. Através de uma interface de acompanhamento alimentada pela PIR, deverá consultar indicadores, verificar evidências e acompanhar os incentivos que financia. A *Tabela 14* mantém a distinção entre informação operacional disponível e informação da CMV ainda não integrada.

Tabela 14 – Requisitos de utilizador da entidade gestora do SIGRE para acompanhamento transversal do ecossistema.

ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação
RU-SGR-01 · M	Consultar e comparar resultados dos MUN e intervenientes CMV abrangidos, para acompanhar metas e identificar necessidades de melhoria.	Consultar indicadores por território, material e período, distinguindo os resultados disponíveis das etapas ainda sem informação.
RU-SGR-02 · M	Acompanhar os resultados das campanhas e dos incentivos co-financiados com os vários MUN.	Comparar financiamento, participação e recompensas utilizadas face a dados históricos e para diferentes regras e esquemas de reciclagem urbana.
RU-SGR-03 · O	Emitir relatórios com recomendações de regras, incentivos e configurações ajustadas à respetiva realidade operacional de cada MUN.	O MUN consulta as recomendações da SGR, respetiva fundamentação e indicadores de suporte, podendo utilizá-las para rever os seus esquemas e configurações.

3.3.8. Técnicos de apoio e manutenção R5.0 (URB e CMV)

O TEC necessita de instanciar, acompanhar e manter a PIR e a componente *blockchain*, bem como apoiar a ligação das AC e AO e de outros serviços dos INF. A *Tabela 15* reúne os requisitos de operação e evolução técnica, mantendo a distinção entre administrar a solução e decidir sobre regras municipais ou dados de outras entidades. A instalação documentada, o diagnóstico de falhas e a atualização controlada constituem necessidades já identificadas para este perfil.

Tabela 15 – Requisitos de utilizador do operador da solução e da comunidade técnica.

ID	Necessidade do interveniente	Evidência de satisfação
RU-TEC-01 · M	Instalar e configurar os componentes da R5.0 a partir do código e da documentação disponibilizados.	Preparar um ambiente de referência, configurar um serviço municipal e testar a ligação às aplicações e à <i>blockchain</i> .
RU-TEC-02 · M	Acompanhar o funcionamento das integrações e localizar falhas entre equipamentos, aplicações, plataforma e <i>blockchain</i> .	Identificar onde ocorreu uma falha e quais os registos afetados, utilizando apenas os dados necessários ao diagnóstico sem acesso a informações pessoais/sensíveis.
RU-TEC-03 · M	Atualizar a solução e as integrações preservando o histórico e a continuidade dos serviços.	Testar uma atualização, confirmar a compatibilidade e recuperar a versão anterior caso a alteração falhe.
RU-TEC-04 · M	Apoiar a entrada, substituição ou saída de fornecedores sem comprometer os restantes serviços.	Testar uma nova integração, disponibilizar instruções ao fornecedor e retirar os acessos do prestador substituído.



4. Requisitos Funcionais da Plataforma Integradora

Nos capítulos anteriores foram identificados os principais intervenientes do ecossistema R5.0, os respetivos papéis e responsabilidades, os processos de referência e os requisitos associados à sua participação. Esse ecossistema engloba diferentes componentes, nomeadamente a PIR, a AC, a AO e a componente *blockchain*, transversal ao registo e rastreabilidade da informação. A partir deste enquadramento, o presente capítulo centra-se especificamente nos **requisitos funcionais da PIR**.

Como já foi referido, a necessidade desta plataforma resulta da fragmentação característica dos serviços urbanos de resíduos. Um MUN pode trabalhar simultaneamente com diferentes fornecedores de contentores, sensores, sistemas de controlo de acesso, aplicações, operadores de recolha ou serviços de dados, cada um com os seus próprios sistemas e formas de disponibilização da informação. Para os intervenientes INF, o objetivo principal é fornecer a infraestrutura física/digital ou o serviço contratado; para o MUN, contudo, é essencial dispor de uma visão única, coerente e normalizada do serviço, sem depender da consulta e operação de múltiplas plataformas proprietárias para acompanhar o mesmo domínio municipal.

Esta necessidade torna-se ainda mais relevante considerando que a gestão municipal não se limita aos resíduos. A reciclagem constitui apenas um dos vários serviços urbanos que o município necessita de acompanhar através da sua infraestrutura digital. **A PIR é, por isso, concebida como uma camada de integração e intermediação (*middleware*)**, responsável por ligar os diferentes serviços, equipamentos e fontes de dados do ecossistema R5.0 à plataforma urbana municipal, seguindo, sempre que aplicável, os princípios e orientações definidos pela ENTI para interoperabilidade e integração de serviços urbanos.

Deste modo, **a PIR deverá disponibilizar ao MUN um espaço centralizado para configuração, acompanhamento e análise do serviço de reciclagem e, à SGR, uma visão consolidada da informação necessária ao acompanhamento de resultados, metas e desempenho dos diferentes territórios.** O objetivo não é substituir os sistemas especializados dos fornecedores, mas integrá-los através de modelos e interfaces comuns, permitindo que cada interveniente mantenha a sua especialização enquanto o município e a SGR dispõem de uma visão transversal, comparável e independente da tecnologia utilizada em cada serviço.

Os requisitos seguintes incidem, por isso, na gestão, integração, consulta e acompanhamento disponibilizados ao MUN e à SGR. Não incluem as funcionalidades internas das restantes componentes, como a leitura dos sensores, a interação do cidadão com os contentores, a emissão de comprovativos de recompensa ou a validação de transações pela rede *blockchain*.

O âmbito prioritário corresponde à cadeia URB e à sua ligação ao TRP. A extensão à CMV permanece limitada ao mapeamento da informação necessária para futura integração e consulta, não incluindo a validação operacional dos processos industriais no presente projeto.

A *Tabela 16* apresenta a proposta consolidada de requisitos funcionais e os respetivos critérios de aceitação. A coluna *Utilização principal* identifica as funcionalidades relevantes para cada perfil, sem substituir as regras de acesso definidas anteriormente. As prioridades distinguem requisitos essenciais/mandatórios (M) de requisitos recomendados/opcionais (O).

**Tabela 16** – Requisitos funcionais da plataforma integradora R5.0 para utilização pelo MUN e pela SGR.

ID	Utilização principal	Requisito funcional	Critério de aceitação
RF-PL-01 • M	MUN	Configuração do serviço municipal. Permitir definir o território abrangido, o MUN responsável, os serviços disponíveis e o funcionamento real ou simulado.	Cada domínio apresenta uma única autoridade responsável ativa. Os registros de simulação encontram-se identificados e não produzem operações financeiras reais.
RF-PL-02 • M	MUN e SGR	Perfis e permissões. Aplicar permissões de consulta, gestão e exportação de acordo com a função do utilizador, os territórios e os serviços autorizados.	O MUN apenas gere o seu domínio. A SGR consulta a informação autorizada de vários domínios, sem adquirir permissão para alterar regras municipais.
RF-PL-03 • M	MUN	Gestão de parceiros e serviços. Permitir registar, associar e desativar fornecedores e parceiros, identificando os equipamentos e serviços pelos quais respondem.	Um equipamento pode ter fornecedores distintos para sensores e manutenção. A substituição de um parceiro preserva o histórico e retira os acessos que deixaram de estar autorizados.
RF-PL-04 • M	MUN e SGR	Integração de diferentes fornecedores. Receber e disponibilizar informação através de interfaces documentadas e modelos comuns, preservando os identificadores e a origem dos dados.	Dados equivalentes de dois fornecedores são apresentados na mesma consulta, sem confusão entre equipamentos ou necessidade de filtros específicos de marca.
RF-PL-05 • M	MUN	Ligação à Plataforma Urbana. Disponibilizar dados e operações do serviço de resíduos à plataforma urbana municipal e receber os pedidos de gestão por ela encaminhados.	A partir da plataforma urbana, é possível consultar a infraestrutura e submeter um pedido autorizado, acompanhando a resposta do serviço responsável.
RF-PL-06 • M	MUN e SGR	Estado das integrações. Apresentar, para as fontes autorizadas, a última atualização, as falhas de comunicação e os registos pendentes de processamento.	Uma fonte sem comunicação surge como desatualizada. A ausência de dados não é apresentada como ausência de deposições ou de resíduos.
RF-PL-07 • M	MUN	Contratos e autorizações de acesso. Permitir criar e atualizar contratos municipais, associar CID e meios de acesso e comunicar as autorizações aos sistemas dos INF.	Um contrato identifica o CID e os serviços associados. A ativação, alteração ou revogação do acesso apresenta a confirmação ou pendência devolvida pelo INF.
RF-PL-08 • M	MUN e SGR	Inventário e monitorização da infraestrutura. Apresentar em mapa e lista os contentores, ilhas e dispositivos, incluindo localização, capacidades, responsáveis e estado disponível.	Ao selecionar um contentor, são apresentados os dispositivos associados, as últimas observações e as respetivas datas, sem atribuir medições que o equipamento não realiza.
RF-PL-09 • M	MUN	Configuração dos equipamentos. Permitir consultar e alterar, através dos serviços dos INF, os parâmetros autorizados, como limiares de enchimento e condições de acesso.	Uma alteração é encaminhada para o fornecedor e só aparece como aplicada após confirmação. Parâmetros não suportados não ficam disponíveis para alteração.
RF-PL-10 • M	MUN	Consulta de sessões e pontos. Relacionar cada sessão com as deposições registadas, o contrato associado e os pontos comunicados pelo serviço responsável, segundo as regras do MUN.	Uma sessão apresenta as deposições válidas, os pontos atribuídos e a regra utilizada. A consulta não cria um saldo independente do serviço de pontos.



ID	Utilização principal	Requisito funcional	Critério de aceitação
RF-PL-11 • M	MUN	Gestão de alertas. Receber ou gerar alertas de enchimento, avaria, acesso ou comunicação, permitindo consultar a origem, definir o responsável e acompanhar a resolução.	Um alerta identifica o equipamento, o problema e o responsável. As atualizações mantêm-se associadas à mesma ocorrência até ao encerramento ou reabertura.
RF-PL-12 • M	MUN	Pedidos de manutenção. Permitir solicitar intervenções aos INF responsáveis e receber informação sobre o estado e o resultado dos trabalhos.	Um pedido fica associado ao equipamento e ao INF, permitindo consultar a aceitação, o progresso e a conclusão da intervenção.
RF-PL-13 • M	MUN	Apoio ao planeamento da recolha. Cruzar informação dos contentores com os planos de recolha recebidos e permitir encaminhar pedidos de ajuste ao TRP.	O MUN identifica contentores que necessitam de recolha, consulta a sua inclusão nas rotas e acompanha a resposta a um pedido de alteração.
RF-PL-14 • M	MUN e SGR	Acompanhamento de recolhas e entregas. Relacionar os registos do TRP com os pontos servidos, as cargas, os destinos e as confirmações de receção disponíveis.	Uma recolha permite consultar o destino e o estado da entrega. A falta de confirmação ou uma diferença de quantidade permanece identificada.
RF-PL-15 • M	MUN	Configuração de pontos e tarifação. Permitir definir regras de atribuição e utilização de pontos e parâmetros PAYT/SAYT, comunicando-os aos serviços responsáveis pela sua aplicação.	As regras identificam valores, condições, limites e início de aplicação. É possível consultar a versão comunicada e a confirmação do serviço destinatário.
RF-PL-16 • M	MUN	Simulação de incentivos e encargos. Permitir comparar os resultados de diferentes regras RAYT e PAYT/SAYT sobre um conjunto de sessões e período selecionados.	A simulação apresenta os pontos, benefícios e encargos calculados, identificando as regras utilizadas e sem alterar saldos ou faturas reais.
RF-PL-17 • M	MUN	Acompanhamento do programa de recompensas. Permitir gerir a participação dos COM e consultar ofertas, disponibilidade e utilizações através da integração com o serviço de recompensas.	O MUN consulta os estabelecimentos participantes e as recompensas disponibilizadas e utilizadas, distinguindo utilizações confirmadas de reservas ou cancelamentos.
RF-PL-18 • M	MUN	Integração com a faturação municipal. Encaminhar benefícios autorizados para o sistema de faturação e receber a confirmação da sua aplicação ou rejeição.	Cada pedido identifica contrato, período e valor. A plataforma distingue pedido enviado de desconto aplicado e não duplica o pedido após uma falha de comunicação.
RF-PL-19 • M	MUN	Comunicação e campanhas. Permitir preparar avisos e campanhas municipais, definir os destinatários e encaminhar a publicação para a aplicação do cidadão ou serviço de comunicação integrado.	Um aviso é associado ao público e período definidos. A plataforma apresenta a confirmação de publicação ou a falha comunicada pelo serviço.
RF-PL-20 • M	MUN e SGR	Acompanhamento do financiamento. Relacionar campanhas e incentivos com os respetivos financiadores, limites acordados, benefícios utilizados e compensações comunicadas.	É possível comparar os valores previstos, utilizados e por liquidar, distinguindo o custo suportado pelo comerciante de uma compensação devida por terceiros.



ID	Utilização principal	Requisito funcional	Critério de aceitação
RF-PL-21 • M	MUN e SGR	Indicadores e metas. Apresentar indicadores de participação, deposição, recolha e incentivos, permitindo acompanhar metas e comparar territórios e períodos autorizados.	Cada indicador identifica período, unidade, fontes e cobertura. Os resultados distinguem deposições, resíduos recolhidos e reciclagem comprovada, quando existam dados para a demonstrar.
RF-PL-22 • M	MUN e SGR	Relatórios. Permitir gerar relatórios e exportar os dados e configurações autorizados, com seleção de território, período, material ou programa.	A exportação corresponde aos filtros e permissões aplicados e identifica as fontes e a data de atualização da informação.



5. Conclusões

O presente documento consolidou o enquadramento necessário ao desenvolvimento do ecossistema R5.0, identificando os principais intervenientes, responsabilidades, processos de referência e requisitos de utilizador, bem como os requisitos funcionais da Plataforma Integradora de Reciclagem e da componente *blockchain*. **Este levantamento estabelece uma base comum para garantir que as decisões técnicas seguintes respondem às necessidades reais do serviço e preservam princípios fundamentais** de interoperabilidade, rastreabilidade, separação de responsabilidades e escalabilidade da solução.

Como próximo passo, estes requisitos deverão ser traduzidos na arquitetura da solução e no modelo de dados da Plataforma Integradora de Reciclagem. O modelo de dados deverá formalizar as entidades, relações, eventos, identificadores e informação necessária à integração dos diferentes intervenientes, procurando reutilizar os referenciais da ENTI e os modelos nacionais existentes sempre que aplicáveis. Em paralelo, a arquitetura deverá definir a organização das componentes, interfaces e fluxos de comunicação entre a PIR, aplicações, sistemas dos fornecedores, plataforma urbana e *blockchain*. Estes trabalhos permitirão transformar os requisitos agora estabelecidos numa especificação técnica implementável, mantendo simultaneamente a capacidade de evolução e expansão futura do ecossistema R5.0.



6. Referências

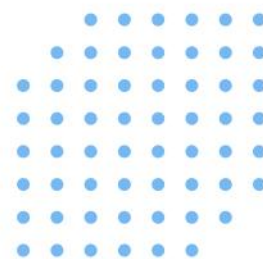
- [1] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance), vol. 312. 2008. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- [2] Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste (Text with EEA relevance), vol. 150. 2018. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>
- [3] Directive (EU) 2025/1892 of the European Parliament and of the Council of 10 September 2025 amending Directive 2008/98/EC on waste (Text with EEA relevance). 2025. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2025/1892/oj>
- [4] ‘Diretiva 2025/1892, que altera a Diretiva-Quadro dos Resíduos (Diretiva 2008/98/CE) - Publicações - Insights & Media - Insights - VdA - Vieira de Almeida, Sociedade de Advogados e Consultores’, VdA - Vieira de Almeida & Associados - Sociedade de Advogados e Consultores, SP RL. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://www.vda.pt/pt/publicacoes/insights/diretiva-20251892-que-altera-a-diretiva-quadro-dos-residuos-diretiva-200898ce/28063/>
- [5] ‘Legislação da UE em matéria de gestão de resíduos | EUR-Lex’. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/PT/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html>
- [6] ‘Reciclagem – fluxos específicos de resíduos | Relatório do Estado do Ambiente’. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/reciclagem-%E2%80%93-fluxos-espec%C3%ADficos-de-res%C3%ADduos>
- [7] APA, ‘Plano Nacional de Gestão de Resíduos, PNGR2030’. [Online]. Available: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/Planeamento/PNGR%202030_CP.pdf
- [8] ‘Resolução do Conselho de Ministros n.º 31/2023, de 24 de março | DR’. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/31-2023-210923319>
- [9] ‘Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU) | Agência Portuguesa do Ambiente’. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/residuos/plano-estrategico-para-os-residuos-urbanos-persu>
- [10] D. da República, ‘Resolução do Conselho de Ministros n.º 30/2023, de 24 de março’, Diário da República. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/30-2023-210923318>
- [11] J. Reichenbach, ‘Status and prospects of pay-as-you-throw in Europe – A review of pilot research and implementation studies’, Waste Management, vol. 28, no. 12, pp. 2809–2814, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2008.07.008.
- [12] E. Tat, ‘The winning formula for cities’, Zero Waste Europe. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://zerowasteurope.eu/2023/06/the-winning-formula-for-cities/>
- [13] ‘Pay-as-You-Throw (PAYT) for Municipal Solid Waste Management in Greece: On Public Opinion and Acceptance’. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/22/15429>
- [14] ‘Overview and results of Deposit Return Schemes in Europe’, Sensoneo. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://www.sensoneo.com/en-us/waste-library/deposit-return-schemes-overview-europe/>
- [15] ‘Global Deposit Book 2024’, Reloop Platform. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://www.reloopplatform.org/resources/global-deposit-book-2024/>



- [16] S. Venturi, K. Zulauf, R. Cuel, and R. Wagner, 'Trash to treasure: Gamification and informed recycling behavior', 2025, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.108108.
- [17] D. Kannan, S. Khademolqorani, N. Janatyan, and S. Alavi, 'Smart waste management 4.0: The transition from a systematic review to an integrated framework', *Waste Management*, vol. 174, pp. 1–14, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.wasman.2023.08.041.
- [18] Md. W. Rahman, R. Islam, A. Hasan, N. I. Bithi, Md. M. Hasan, and M. M. Rahman, 'Intelligent waste management system using deep learning with IoT', *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 5, pp. 2072–2087, May 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2020.08.016.
- [19] B. R. Mishra et al., 'Smart Waste Management Systems Using Big Data And Machine Learning Technologies', *International Journal of Environmental Sciences*, pp. 1146–1153, Jun. 2025, doi: 10.64252/4ds7bc79.
- [20] X. Lu, X. Pu, and X. Han, 'Sustainable smart waste classification and collection system: A bi-objective modeling and optimization approach', *Journal of Cleaner Production*, vol. 276, p. 124183, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124183.
- [21] A. Addas, M. N. Khan, and F. Naseer, 'Waste management 2.0 leveraging internet of things for an efficient and eco-friendly smart city solution', *PLOS ONE*, vol. 19, no. 7, p. e0307608, Jul. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0307608.
- [22] 'Moving towards Life Cycle Thinking by integrating Advanced Waste Management Systems | Waste4Think | Project | Fact Sheet | H2020', *CORDIS | European Commission*. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/688995>
- [23] J. Cohen and J. Gil, 'An entity-relationship model of the flow of waste and resources in city-regions: Improving knowledge management for the circular economy', *Resources, Conservation & Recycling Advances*, vol. 12, p. 200058, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.rcradv.2021.200058.
- [24] E. Kristoffersen, O. O. Aremu, F. Blomsma, P. Mikalef, and J. Li, 'Exploring the Relationship Between Data Science and Circular Economy: An Enhanced CRISP-DM Process Model', in *Digital Transformation for a Sustainable Society in the 21st Century*, I. O. Pappas, P. Mikalef, Y. K. Dwivedi, L. Jaccheri, J. Krogstie, and M. Mäntymäki, Eds, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 177–189. doi: 10.1007/978-3-030-29374-1_15.
- [25] J. Schwanholz and S. Leipold, 'Sharing for a circular economy? an analysis of digital sharing platforms' principles and business models', *Journal of Cleaner Production*, vol. 269, p. 122327, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122327.
- [26] 'A Sovereign and Interoperable Data Ecosystem for an Eco-Efficient Nonwovens Industry'. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10735>
- [27] L. F. F. Graciano and A. R. Ometto, 'Passaporte digital de produtos como estratégia de mudança para uma economia circular inteligente', 2025, Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://bdta.abcd.usp.br/item/003285141>
- [28] 'Towards schema.fiware.org – FIWARE'. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://fiware.org/2016/09/02/towards-schema-fiware-org/>
- [29] 'Estratégia Nacional de Territórios Inteligentes'. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://digital.gov.pt/pt/documentos/estrategia-nacional-de-territorios-inteligentes>
- [30] A.-A. para a R. T. do E. I.P., 'Catálogo Nacional de Modelos de Dados para os Territórios Inteligentes (CNMD)', *Territórios Inteligentes*. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://territoriosinteligentes.gov.pt/comunidade/projetos/catalogo-nacional-de-modelos-de-dados-para-os-territorios-inteligentes-cnmd>



- [31] amagovpt/CATALOGO_MODELOS_DADOS_TI. (Sep. 29, 2026). ARTE | Agência para a Reforma Tecnológica do Estado, I.P. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: https://github.com/amagovpt/CATALOGO_MODELOS_DADOS_TI
- [32] A. Pucihar, M. Kljajič, P. Ravesteijn, J. Seitz, and R. Bons, Digital Transformation: Meeting the Challenges: conference proceedings / 31st Bled eConference, June 17 - 20, 2018, Bled, Slovenia. Univerzitetna založba Univerze v Mariboru, 2018. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://press.um.si/index.php/ump/en/catalog/book/343>
- [33] S. V. Akram et al., 'Blockchain Enabled Automatic Reward System in Solid Waste Management', Security and Communication Networks, vol. 2021, no. 1, p. 6952121, Jan. 2021, doi: 10.1155/2021/6952121.
- [34] 'A Blockchain-Based Recycling Platform Using Image Processing, QR Codes, and IoT System'. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/6116>
- [35] M. M. Hasan, R. K. Plamthottathil, J. Morshed, D. Sarkar, N. Hameed, and S. Cirstea, 'Circulogy: An AI-Enabled Blockchain-Based e-Waste Management Framework Using Non-Fungible Tokens (NFT) to Achieve Net Zero and Imply the Circular Economy', in 2023 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC), May 2023, pp. 1–3. doi: 10.1109/ICBC56567.2023.10174985.
- [36] A. S. L. França, J. Amato Neto, R. F. Gonçalves, and C. M. V. B. Almeida, 'Proposing the use of blockchain to improve the solid waste management in small municipalities', Journal of Cleaner Production, vol. 244, p. 118529, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118529.
- [37] I. A. Padilha, 'Uma plataforma de gestão de moedas sociais digitais (MSD) indexadas baseada em Blockchain LPoS (Lease Proof Of Stake)', masterThesis, 2026. Accessed: Sep. 05, 2026. [Online]. Available: <http://repositorio.ifpb.edu.br/jspui/handle/177683/5252>
- [38] D. Rodrigues, F. Meirelles, and M. A. Cunha, Benefícios do Blockchain para moedas sociais digitais. 2018.



RECICLAGEM 5.0

Entregável 2.1 – Levantamento e Especificação dos Requisitos
para o Desenvolvimento da Plataforma Integradora de Reciclagem