

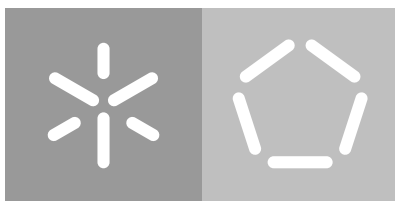
Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

José Carlos Lima Martins

CLAV:
API de dados e Autenticação

Relatório de Pré-Dissertação

January 2020



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

José Carlos Lima Martins

CLAV:
API de dados e Autenticação

Relatório de Pré-Dissertação

Master dissertation
Master Degree in Computer Science

Dissertation supervised by
José Carlos Leite Ramalho

January 2020

ABSTRACT

Write abstract here (en)

RESUMO

Escrever aqui resumo (pt)

CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO	2
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivos	3
2	ESTADO DA ARTE	4
2.1	Estado da Arte do CLAV	4
2.1.1	Estrutura	4
2.1.2	Formas de autenticação	5
2.2	JSON Web Token (JWT)	8
2.2.1	Estrutura do JWT	9
2.2.2	Criação de JWT/JWS	12
2.2.3	Alternativas ao JWT	13
2.3	Autorização de pedidos à API	15
2.3.1	Verificação dos <i>tokens</i> no servidor API	18
2.4	Autenticação.gov	20
2.4.1	SAML 2.0	22
2.5	Swagger	22
2.5.1	Especificação <i>OpenAPI</i>	24
2.5.2	<i>Swagger UI</i>	30
2.6	Documentação da API do CLAV	32
3	O PROBLEMA E OS SEUS DESAFIOS	36
4	CONCLUSÃO	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura do CLAV incluindo a interação de um utilizador com a mesma	5
Figura 2	Fluxo do <i>login</i> de um utilizador através do Autenticação.gov	8
Figura 3	Exemplo de representação compacta de JWT (quebra de linhas por forma a melhorar leitura)	9
Figura 4	Criação de um JWT	12
Figura 5	Criação de um JWS	13
Figura 6	Fluxo de autenticação e posteriores pedidos de um utilizador	16
Figura 7	Fluxo de autenticação e posteriores pedidos de uma chave API	17
Figura 8	Fluxo de pedidos entre CLAV e o Autenticação.gov de forma a autenticar um utilizador na CLAV . Fonte: AMA (2018)	21
Figura 9	<i>Swagger UI</i> exemplo	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação entre especificações de documentação de APIs	30
Tabela 2	Comparação entre ferramentas de APIs	31

LISTA DE EXEMPLOS

2.1	<i>Header</i> usado para construir o JWT da figura 3	10
2.2	<i>Payload</i> usado para construir o JWT da figura 3	11
2.3	<i>Signature</i> usado para construir o JWT da figura 3	11
2.4	Verificação se um pedido com uma determinada Chave API pode ser efetuado	18
2.5	Verificação se um pedido com um determinado <i>token</i> de um utilizador registado pode ser efetuado	18
2.6	Extração do <i>token</i> da <i>query string</i>	19
2.7	Extração do <i>token</i> da <i>header Authorization</i>	19
2.8	Verificação se um utilizador registado tem permissões suficientes para aceder a uma determinada rota	19
2.9	Exemplo de indicação da versão da especificação <i>OpenAPI</i>	24
2.10	Exemplo de secção info indicando título, descrição e versão da API na especificação <i>OpenAPI</i>	24
2.11	Exemplo de secção servers indicando os <i>URLs</i> e a descrição de cada na especificação <i>OpenAPI</i>	24
2.12	Exemplo de secção paths indicando os detalhes de cada rota na especificação <i>OpenAPI</i>	25
2.13	Exemplo de secção tags definindo tags na especificação <i>OpenAPI</i>	26
2.14	Exemplo de uso de <i>tags</i> numa rota na especificação <i>OpenAPI</i>	26
2.15	Exemplo de adição de exemplos para XML e HTML na especificação <i>OpenAPI</i>	28
2.16	Exemplo de uso do <i>swagger-ui-express</i>	33
2.17	Exemplo de uso do <i>yaml-include</i> no documento de especificação <i>OpenAPI(index.yaml)</i>	33
2.18	Exemplo de estrutura dos ficheiros para gerar o documento de especificação <i>OpenAPI</i>	34
2.19	Documento de especificação <i>OpenAPI</i> gerado a partir do ficheiro <i>index.yaml</i> com o uso da <i>package yaml-include</i>	34

GLOSSÁRIO

Application Programming Interface Interface ou protocolo de comunicação entre um cliente e um servidor [viii](#)

ontologia Representação de conhecimento (conceitos e as relações entre estes) [2](#)

Simplex Programa de Simplificação Administrativa e Legislativa [2](#)

LISTA DE ACRÓNIMOS

- AEAD** Authenticated Encryption with Additional Data 14
- AMA** Agência para a Modernização Administrativa 22
- AP** Administração Pública 2, 20
- API** Application Programming Interface i, iii–vi, 2–8, 14–20, 22–25, 29, 30, 32–36, *Glossary: Application Programming Interface*
- CC** Cartão de Cidadão 5, 7, 20, 21
- CLAV** Classificação e Avaliação da Informação Pública iii, iv, 2–7, 9, 14, 20–23, 33–36
- CMD** Chave Móvel Digital 20, 21
- CSS** Cascading Style Sheets 4, 23
- CSV** Comma Separated Values 3
- DGLAB** Direção-Geral do Livro, dos Arquivos e das Bibliotecas 2, 6, 7
- HMAC** Hash-based Message Authentication Code 9, 10, 13, 14
- HTML** Hypertext Markup Language vi, 4, 23, 28
- HTTP** Hypertext Transfer Protocol 15, 27–29, 35
- IETF** Internet Engineering Task Force 14
- JOSE** [JSON](#) Object Signing and Encryption 9, 10
- JSON** JavaScript Object Notation iii, viii, 3, 8–14, 24, 30, 34
- JWE** [JSON](#) Web Encryption 8, 9, 14
- JWS** [JSON](#) Web Signature iii, iv, 8, 9, 11–14
- JWT** [JSON](#) Web Token iii, iv, vi, 7–15
- LC** Lista Consolidada 2, 3
- NIC** Número de Identificação Civil 6, 21
- NSA** National Security Agency 10
- OAS** OpenAPI Specification 22, 23
- OASIS** Organization for the Advancement of Structured Information Standards 22
- OCSP** Online Certificate Status Protocol 21
- PDF** Portable Document Format 4
- PIN** Personal Identification Number 20, 21
- PKI** Public Key Infrastructure 20, 21
- POSIX** Portable Operating System Interface 11

RAML [RESTful API Modeling Language](#) 29, 30, 32
RDF Resource Description Framework 3
REST Representational State Transfer [i](#), 2, 23, 24, 30, 33
RSA Rivest–Shamir–Adleman 9, 10

SAML Security Assertion Markup Language [iii](#), 13, 14, 22
SDK Software Development Kit 23
SHA-2 Secure Hash Algorithm 2 10
SMS Short Message Service 21
SSO Single Sign On 22
SWT Simple Web Token 13

UI User Interface [iii](#), [iv](#), 23, 24, 30–34, 36
UM Universidade do Minho 2

XML Extensible Markup Language [vi](#), 3, 13, 14, 22, 28

YAML [YAML Ain't Markup Language](#) [i](#), 23, 24, 30, 34, 36

INTRODUÇÃO

Vemos atualmente a mudança de paradigma em várias organizações e governos em relação a políticas e estratégias para a disponibilização de dados abertos nos domínios das ciências e da [Administração Pública](#). Quanto à [Administração Pública](#) portuguesa têm sido promovidas políticas para a sua transformação digital com o objetivo de otimização de processos, a modernização de procedimentos administrativos e a redução de papel. De certa forma a agilização de procedimentos da [Administração Pública](#) portuguesa. [Lourenço et al. \(2019\)](#)

De forma a alcançar estes objetivos a [Administração Pública](#) (AP) tem desmaterializado processos e tem promovido a adoção de sistemas de gestão documental eletrónica bem como da digitalização de documentos destinados a serem arquivados. [Lourenço et al. \(2019\)](#)

Por forma a continuar esta transformação da AP a [Direção-Geral do Livro, dos Arquivos e das Bibliotecas](#) (DGLAB) apresentou a iniciativa da [Lista Consolidada](#) (LC) para a classificação e avaliação da informação pública. A LC serve de referencial para a construção normalizada dos planos de classificação e tabelas de seleção das entidades que executam funções do Estado. [Lourenço et al. \(2019\)](#)

Nasce assim o projeto [Classificação e Avaliação da Informação Pública](#) (CLAV) com um dos seus objetivos primordiais a operacionalização da utilização da LC, numa colaboração entre a DGLAB e a [Universidade do Minho](#) (UM) e financiado pelo [Simplex](#). [Lourenço et al. \(2019\)](#)

A plataforma CLAV disponibiliza em formato aberto uma [ontologia](#) com as funções e processos de negócio das entidades que exercem funções públicas (ou seja a LC) associadas a um catálogo de legislação e de organismos. Desta forma, a CLAV viabiliza a desmaterialização dos procedimentos associados à elaboração de tabelas de seleção tendo como base a LC e ao controlo de eliminação e arquivamento da informação pública através da integração das tabelas de seleção nos sistemas de informação das entidades públicas alertando-as quando determinado documento deve ser arquivado ou eliminado. Esta integração promove também a interoperabilidade através da utilização de uma linguagem comum (a LC) usada no registo, na classificação e na avaliação da informação pública. [Lourenço et al. \(2019\)](#)

1.1 MOTIVAÇÃO

A continuação do desenvolvimento da API de dados da CLAV nesta dissertação, seguindo uma metodologia [REST](#), permite a processos ou aplicações aceder aos dados sem a interven-

ção humana para além de suportar a plataforma [CLAV](#). Um dos objetivos da [API](#) de dados é permitir futuramente a criação de novas aplicações através desta. Como tal, é extramamente essencial que a [API](#) de dados do [CLAV](#) possua uma boa documentação ajudando futuros programadores ou utilizadores a utilizar a [API](#). Além disso, uma [API](#) sem uma boa documentação de como a usar é inútil. Advém daí a necessidade de nesta dissertação realizar a documentação da [API](#) de dados em *Swagger*.

Apesar de o projeto ter em mente a disponibilização aberta de informação pública é necessário controlar a adição, edição e eliminação da informação presente na [Lista Consolidada](#), bem como a informação de utilizadores, da legislação, das entidades, etc, mantendo-a consistente e correta. É, portanto, necessário controlar os acessos à [API](#) de dados com múltiplos níveis de acesso restringindo as operações que cada utilizador pode realizar consoante o seu nível. Desta forma garante-se que apenas pessoal autorizado pode realizar modificações aos dados.

Este controlo de acesso exige a existência de formas de autenticação. Como um cofre para o qual ninguém tem a chave não é útil pelo facto de que algo lá guardado ficará eternamente inacessível, também algo com controlo de acesso seria inútil caso não fosse possível ultrapassar esse controlo de alguma forma. Assim, uma das formas de autenticação usadas, Autenticação.gov, criada pelo Estado português, permite a autenticação dos cidadãos portugueses nos vários serviços públicos [AMA](#) ([2019](#)) entre os quais, a Segurança Social, o Serviço Nacional de Saúde e a Autoridade Tributária Aduaneira. Sendo este um projeto do Governo Português, a autenticação no [CLAV](#) através do Autenticação.gov é um requisito.

Por forma a contrariar o aumento da complexidade da [API](#) de dados com a adição do controlo de acesso e da autenticação pretende-se investigar se a criação de um API Gateway simplifica a comunicação entre interface/utilizadores e a [API](#) de dados.

1.2 OBJETIVOS

Resumidamente, os objetivos desta dissertação são:

- Documentação em *Swagger* da [API](#) de dados da [CLAV](#)
- Adição de formatos de exportação à [API](#) de dados da [CLAV](#) (para além do já presente [JSON](#), adicionar [CSV](#), [XML](#) e [RDF](#))
- (Continuação da) Integração do Autenticação.gov na [CLAV](#)
- Proteção da [API](#) de dados da [CLAV](#) com múltiplos níveis de acesso
- Estudo da criação de um [API](#) Gateway
- Integração do [CLAV](#) no iAP

ESTADO DA ARTE

2.1 ESTADO DA ARTE DO CLAV

Quando esta dissertação teve início o projeto [CLAV](#) já tinha cerca de 2 anos de desenvolvimento. Assim nesta secção será apresentado o estado da arte do [CLAV](#) quando esta dissertação iniciou aprofundando principalmente os pontos mais importantes sobre o tema desta dissertação.

2.1.1 Estrutura

O [CLAV](#) está dividido em duas partes:

- interface (*front-end*) presente em <http://clav.dglab.gov.pt>
- [API](#) de dados (*back-end* que inclui também duas bases de dados, *GraphDB* e *MongoDB*) presente em <http://clav-api.dglab.gov.pt>.

Cada parte encontra-se numa máquina diferente.

Através da figura 1 é possível ver o possível fluxo tanto de um utilizador a aceder à interface como a de um utilizador a aceder diretamente à [API](#) de dados. No primeiro caso, quando um utilizador acede o servidor da interface do [CLAV](#) é descarregado para o lado do utilizador o ficheiro [HTML](#) (*index*) e os vários ficheiros *JavaScript*, [CSS](#) e *assets* (como imagens, [PDFs](#), etc) quando necessários. O servidor da interface é nada mais que um servidor *web* com recurso ao *Nginx* que hospeda estes ficheiros, os quais representam a interface construída com o *Vue* e o *Vuetify*. Como tal o código apresenta-se todo do lado do utilizador e os pedidos à [API](#) serão feitos do computador do utilizador para o servidor da [API](#) de dados e não do servidor da interface para o servidor da [API](#) de dados. Ou seja, o fluxo de cada um desses pedidos será igual ao fluxo no caso em que se acede diretamente a [API](#) sem uso de qualquer interface.

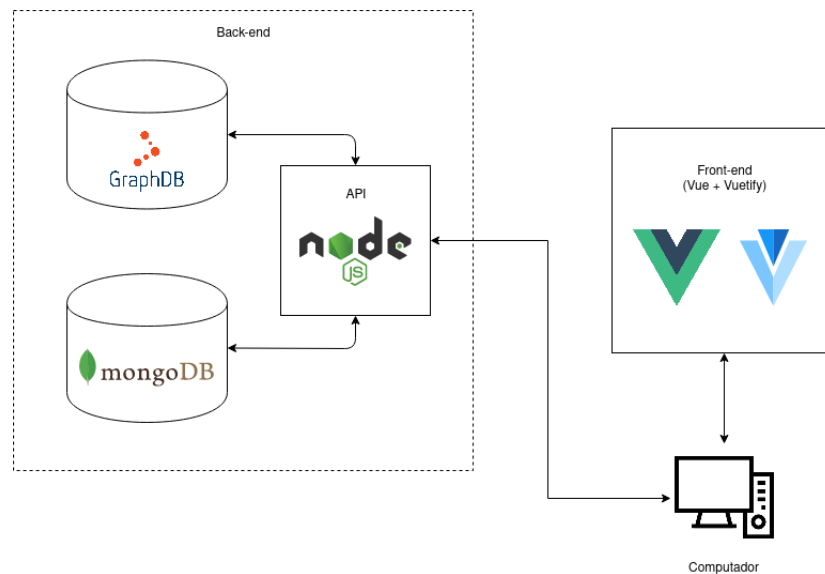


Figura 1: Estrutura do CLAV incluindo a interação de um utilizador com a mesma

2.1.2 Formas de autenticação

A API de dados e a interface estavam inicialmente “juntas” (aplicação monolítica) onde as rotas eram protegidas contudo, com a separação da aplicação em duas partes, ambas partes deixaram de estar protegidas. Devido à plataforma já ter estado protegida esta já possui duas formas de autenticação, através de chaves API ou através de utilizadores registados. Ou seja, tanto o registo de utilizadores e de chaves API já se encontra implementado bem como o *login* de utilizadores.

As chaves API existem por forma a dar acesso a certas rotas da API a aplicações que interajam com a mesma (por exemplo sistemas de informação) sem a necessidade de interação humana.

Já os utilizadores possuem múltiplos níveis de acesso sendo que consoante o seu nível podem ou não aceder a uma rota da interface ou da API. Os utilizadores podem autenticarem-se através de *email* e *password* ou com recurso ao Cartão de Cidadão (CC) através do Autenticação.gov, este último apenas disponível através da interface do CLAV.

A hierarquia dos níveis de acesso, do nível que permite menor para o maior acesso, é a seguinte:

- Nível 0: Chaves API
- Nível 1: Representante Entidade
- Nível 2: Utilizador Simples
- Nível 3: Utilizador Avançado
- Nível 3.5: Utilizador Validador (AD)

- Nível 4: Utilizador Validador
- Nível 5: Utilizador Decisor
- Nível 6: Administrador de Perfil Funcional
- Nível 7: Administrador de Perfil Tecnológico

As chaves [API](#) poderão aceder a algumas rotas com método GET. Já os utilizadores poderão realizar todos os pedidos que as chaves [API](#) podem realizar mas quanto maior o seu nível de acesso mais rotas poderão aceder.

A proteção da [API](#) terá de ter esta hierarquia em conta.

Registo

Como já referido tanto o registo de chaves [API](#) como de utilizadores já se encontra implementado.

Para o registo de uma chave [API](#) é necessário providenciar um nome, um email e a entidade a que pertence. Após o registo da chave a informação desta chave [API](#) é mantida numa base de dados *MongoDB*.

Um utilizador pode se registar através de email + password ou através do Autenticação.gov. No primeiro caso, ao se registar necessita obviamente de indicar o seu email, a *password*, o seu nome, a entidade a que pertence e o nível de acesso que pretende. Já no caso do Autenticação.gov para o registo do utilizador é necessário todos os campos anteriores exceto a *password* (pode ser depois definida), sendo também necessário o campo [Número de Identificação Civil \(NIC\)](#) do utilizador. Caso o registo seja efetuado com recurso à interface do Autenticação.gov apenas será necessário indicar o email, a entidade a que pertence e o nível de acesso que pretende visto que os restantes campos são fornecidos pela Autenticação.gov quando o utilizador se autentica e autoriza nesta a partilha dessa informação com a plataforma do [CLAV](#). A *password* é armazenada não na sua forma literal mas sim a sua *hash* ao aplicar a função criptográfica *bcrypt*. A utilização de funções de *hash* criptográficas ao armazenar *passwords* impede que as *passwords* originais se saibam caso a base de dados seja comprometida. Para além disso, como o *bcrypt* combina um valor aleatório (*salt*) com a *password* do utilizador, é impossível pré-computar a *password* que deu origem ao *hash* sem saber o *salt*¹.

Durante esta tese com a proteção da [API](#) ficará apenas possível o registo de utilizadores através de utilizadores que já estejam registados e possuam um nível de acesso suficiente para registar utilizadores. Estes utilizadores registados e autorizados pertencem à entidade [DGLAB](#). Portanto por forma a utilizadores representantes de outras entidades se registarem na plataforma terão de: [DGLAB \(2019\)](#)

- Preencher o formulário disponibilizado para o efeito, para cada representante designado pela entidade;

¹Para mais informação veja *rainbow table attack*

- O formulário deverá ser assinado por um dirigente superior da Entidade e autenticado com assinatura digital, se o envio for feito por via eletrónica (NB: não serão aceites assinaturas do formulário por dirigentes intermédios). Esta autorização autenticada pelo dirigente superior é o equivalente a uma delegação de competências, uma vez que o representante da entidade passa a ter capacidade para, em nome da entidade, submeter autos de eliminação, propostas de tabelas de seleção e novas classes para a Lista Consolidada;
- O formulário deverá ser remetido à [DGLAB](#) por via postal ou eletrónica, respetivamente, para:
 - [DGLAB](#), Edifício da Torre do Tombo, Alameda da Universidade, 1649-010 Lisboa (formulário assinado manualmente) ou
 - clav@dglab.gov.pt (formulário com assinatura digital).
- Após receção do formulário, a [DGLAB](#) efetuará o(s) respetivo(s) registo(s) até 48 horas úteis;
- Findo esse prazo, o utilizador poderá aceder à plataforma, selecionando a opção “Autenticação”;
- A autenticação, no primeiro acesso, deve ser efetuada com o [Cartão de Cidadão](#).

Login

O *login* apenas está presente para o caso dos utilizadores visto que assim que uma chave [API](#) é registada é enviado por email um [JWT](#) com a duração de 30 dias a ser usado nos pedidos a realizar à [API](#). O utilizador poderá ao fim dos 30 dias renovar a sua chave [API](#), onde é gerado um novo [JWT](#).

Portanto do lado dos utilizadores é possível como já referido realizar o *login* de duas formas através de uma estratégia local ou através do Autenticação.gov.

A estratégia local (email + password) é conseguida através do uso do *middleware Passport*. O *Passport* é um middleware de autenticação para *Node.js* que tem como objetivo autenticar pedidos. [Passport.js \(2019\)](#) Tem como única preocupação a autenticação delegando qualquer outra funcionalidade para a aplicação que a usa. Este *middleware* possui muitas estratégias de autenticação entre as quais a local (email/username + password), [JWT](#), [OAuth²](#), [Facebook](#) ou [Twitter](#). Cada estratégia está num módulo independente. Assim as aplicações que usam o *Passport* não terão um peso adicional devido a estratégias que nem sequer usam.

No caso do *login* através do Autenticação.gov, o utilizador tem de se autenticar na interface do Autenticação.gov (a partir do botão disponível na área de autenticação da interface do [CLAV](#)). O fluxo do *login* neste caso é:

²Protocolo *open-source* com o objetivo de permitir a autenticação simples, segura e padrão entre aplicações móveis, *web* e *desktop*

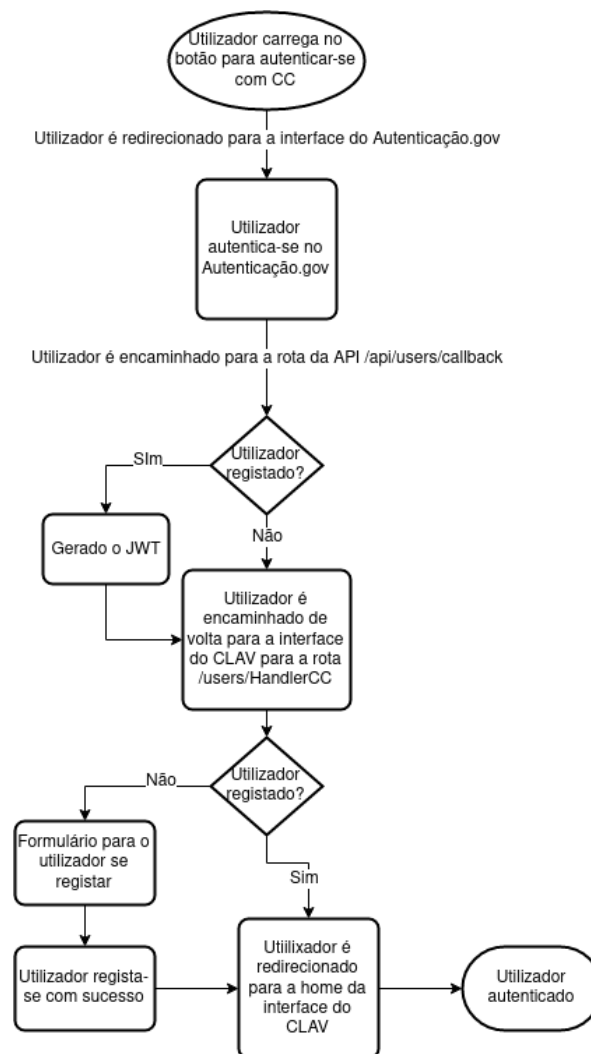


Figura 2: Fluxo do *login* de um utilizador através do Autenticação.gov

No *login* do utilizador é gerado um **JWT** com a duração de 8 horas que deve ser usado nos pedidos a realizar à **API**. No fim das 8 horas o utilizador necessita de se autenticar de novo.

2.2 JSON WEB TOKEN (JWT)

O **JWT** é um *open standard*³ que define uma forma compacta e independente de transmitir com segurança informação entre partes com um objeto **JSON**. Autho (2019) O **JWT** pode ser assinado digitalmente (**JWS**), encriptado (**JWE**), assinado e depois encriptado (**JWS** encriptado, ou seja, um **JWE**, ordem recomendada⁴) ou encriptado e depois assinado (**JWE** assinado, ou seja, um **JWS**).

³Mais informação em <https://tools.ietf.org/html/rfc7519>

⁴Mais informação em <https://tools.ietf.org/html/rfc7519#section-11.2>

Caso seja assinado digitalmente é possível verificar a integridade da informação mas não é garantida a sua privacidade contudo podemos confiar na informação do **JWT**. A assinatura pode ser efetuada através de um segredo usando por exemplo o algoritmo **HMAC** ou através de pares de chaves pública/privada usando por exemplo o algoritmo **RSA**. No caso de se usar pares de chaves pública/privada a assinatura também garante que a parte envolvida que tem a chave privada é aquela que assinou o **JWT**.

Por outro lado, os **JWTs** podem ser encriptados garantindo a privacidade destes, escondendo a informação das partes não envolvidas. Nesta secção apenas se falará sobre **JWTs** e **JWSs** (**JWT** assinado). Se pretender saber mais sobre **JWEs** pode ler o capítulo 5 do livro *The JWT Handbook* por Sebastián E. Peyrott.

Sendo assim em que casos é útil o uso de **JWTs**? Dois dos casos são os seguintes:

- Autorização: Este será o caso para o qual o **JWT** será usado na **CLAV**. Quando o utilizador realiza o *login* gera-se um **JWT** por forma a que os restantes pedidos desse utilizador sejam realizados com esse **JWT** (*Single Sign On*). O uso de **JWTs** para estes casos permitem um *overhead* pequeno e a flexibilidade de serem usados em diferentes domínios.
- Troca de informação: No caso de troca de informação entre duas partes os **JWTs** assinados são de bastante utilidade visto que permitem verificar se o conteúdo não foi violado e, no caso de se usar pares de chaves pública/privada para assinar, permitem ter a certeza que o remetente é quem diz ser.

2.2.1 Estrutura do **JWT**

Os **JWTs** são construídos a partir de três elementos, o *header* (objeto **JSON** também conhecido por **JOSE header**), o *payload* (objeto **JSON**) e os dados de assinatura/encriptação (depende do algoritmo usado). Estes elementos são depois codificados em representações compactas (Base64 URL-safe⁵). As codificações Base64 URL-safe de cada elemento são depois concatenadas através de pontos dando origem a uma representação final compacta do **JWT** (**JWS/JWE Compact Serialization**). Na secção 2.2.2 está presente dois diagramas referentes à construção de dois **JWTs** sendo um deles assinado.

eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.
eyJ0eXciOiJpbnR5cCI6IkpXVCJ9.
tRPSYVsFI-nziRPuAjdGZLN2tUez5MtLML_aAnPplgM

Figura 3: Exemplo de representação compacta de **JWT** (quebra de linhas por forma a melhorar leitura)

De seguida vamos aprofundar cada elemento referido:

Header: O cabeçalho (a vermelho na figura 3) consiste nos seguintes atributos:

⁵Variante da codificação Base64 onde a codificação gerada é segura para ser usada em *URLs*. Basicamente para a codificação Base64 gerada substitui os caracteres '+' e '/' pelos caracteres '-' e '_' respetivamente. Além disso, remove o carácter de *padding* e proíbe separadores de linha

- O atributo obrigatório (único campo obrigatório para o caso de um JWT não encriptado) `alg` (algoritmo) onde é indicado que algoritmo é usado para assinar e/ou descriptar. O seu valor pode ser por exemplo HS256 (HMAC com o auxílio do SHA-256⁶) ou RSA.
- O atributo opcional `typ` (tipo do *token*) em que o seu valor é “JWT”. Serve apenas para distinguir os JWTs de outros objetos que têm um JOSE header.
- O atributo opcional `cty` (tipo do conteúdo (*payload*)). Se o *payload* conter atributos arbitrários este atributo não deve ser colocado. Caso o *payload* for um JWT⁷ então este atributo deve ter o valor de “JWT”.

O cabeçalho é de grande importância visto que permite saber se o JWT é assinado ou encriptado e de que forma o resto do JWT deve ser interpretado.

```
{  
  "alg": "HS256",  
  "typ": "JWT"  
}
```

Exemplo 2.1: Header usado para construir o JWT da figura 3

Payload: O *payload* (a roxo na figura 3) contém a informação/dados que pretendemos transmitir com o JWT. Não há atributos obrigatórios contudo existem certos atributos que têm um significado definido (atributos registados).

Existem 7 atributos registados (*registered claims*): Peyrott (2018)

- `iss` (*issuer*): Identificador único (*case-sensitive string*) que identifica unicamente quem emitiu o JWT. A sua interpretação é específica a cada aplicação visto que não há uma autoridade central que gere os emissores.
- `sub` (*subject*): Identificador único (*case-sensitive string*) que identifica unicamente de quem é a informação que o JWT transporta. Este atributo deve ser único no contexto do emissor, ou se tal não for possível, globalmente único. O tratamento do atributo é específico a cada aplicação.
- `aud` (*audience*): Identificador único (*case-sensitive string*) ou *array* destes identificadores únicos que identificam unicamente os destinatários pretendidos do JWT. Ou seja, quem lê o JWT se não estiver no atributo `aud` não deve considerar os dados contidos no JWT. O tratamento deste atributo também é específico a cada aplicação.

⁶Função pertencente ao conjunto de funções *hash* criptográficas Secure Hash Algorithm 2 (SHA-2) desenhadas pela NSA

⁷JWT aninhado (*nested JWT*)

- `exp` (*expiration (time)*): Um número inteiro que representa uma data e hora específica no formato *seconds since epoch* definido pela [POSIX](#)⁸, a partir da qual o **JWT** é considerado inválido (expira).
- `nbf` (*not before (time)*): Representa o inverso do atributo `exp` visto que é um número inteiro que representa uma data e hora específica no mesmo formato do atributo `exp`, mas que a partir da qual o **JWT** é considerado válido.
- `iat` (*issued at (time)*): Um número inteiro que representa uma data e hora específica no mesmo formato dos atributos `exp` e `nbf` na qual o **JWT** foi emitido.
- `jti` (*JWT ID*): Identificador único (*string*) do **JWT** que permite distinguir **JWTs** com conteúdo semelhante. A implementação tem de garantir a unicidade deste identificador.

Estes atributos registados têm todos 3 caracteres visto que um dos requisitos do **JWT** é ser o mais pequeno/compacto possível.

Existem depois mais dois tipos de atributos, públicos e privados. Os atributos públicos podem ser definidos à vontade pelos utilizadores de **JWTs** mas têm de ser registados em *IANA JSON Web Token Claims registry* ou definidos por um espaço de nomes resistente a colisões de forma a evitar a colisão de atributos. Já os atributos privados são aqueles que não são nem registados nem públicos e podem ser definidos à vontade pelos utilizadores de **JWTs**. Os dois atributos usados no exemplo 2.2 (`name` e `num`) são atributos privados.

```
{  
  "name": "José Martins",  
  "num": "a78821"  
}
```

Exemplo 2.2: *Payload* usado para construir o **JWT** da figura 3

Signature: A assinatura (a azul da figura 3) é criada ao usar o algoritmo indicado na *header* no atributo `alg` tendo como um dos argumentos os elementos codificados da *header* e do *payload* juntos por um ponto e como outro argumento um segredo. O resultado do algoritmo é depois codificado em Base64 URL-safe. Esta assinatura no caso dos **JWSs** é usada para verificar a integridade do **JWT** e caso seja assinado com uma chave privada permite também verificar se o remetente é quem diz ser. No caso de o atributo `alg` for `none` a assinatura é uma *string* vazia.

```
HMACSHA256(  
  base64UrlEncode(header) + "." +  
  base64UrlEncode(payload),  
  segredo1.-uminho!clav  
)
```

⁸Mais informação em https://pubs.opengroup.org/onlinepubs/9699919799/basedefs/V1_chap04.html#tag_04_16

Exemplo 2.3: *Signature* usado para construir o JWT da figura 3

2.2.2 Criação de JWT/JWS

Na figura 4 é apresentada a construção de um JWT em que o atributo `alg` (algoritmo) tem o seu valor igual a `none`, ou seja, o JWT não é assinado nem encriptado.

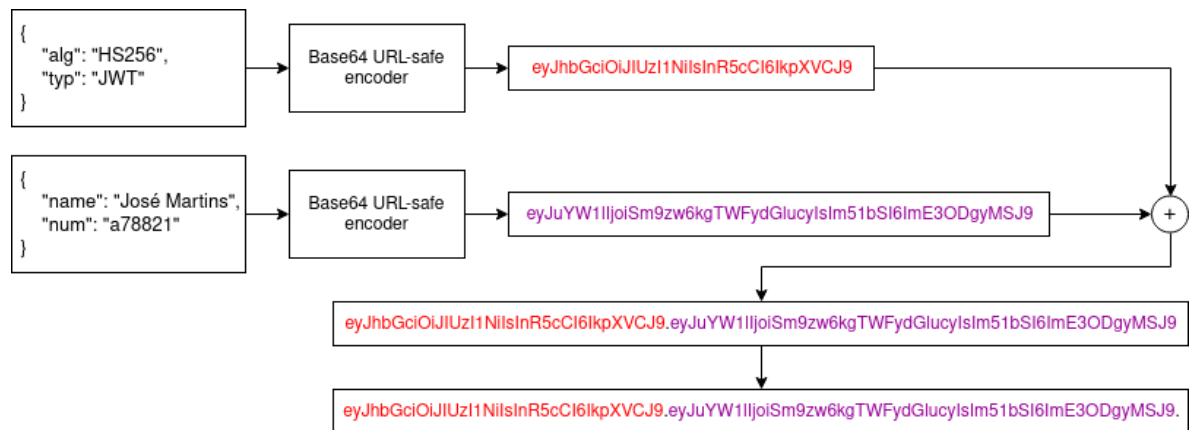


Figura 4: Criação de um JWT

Já na figura 5 é demonstrada a construção de um JWT assinado, ou seja, um JWS.

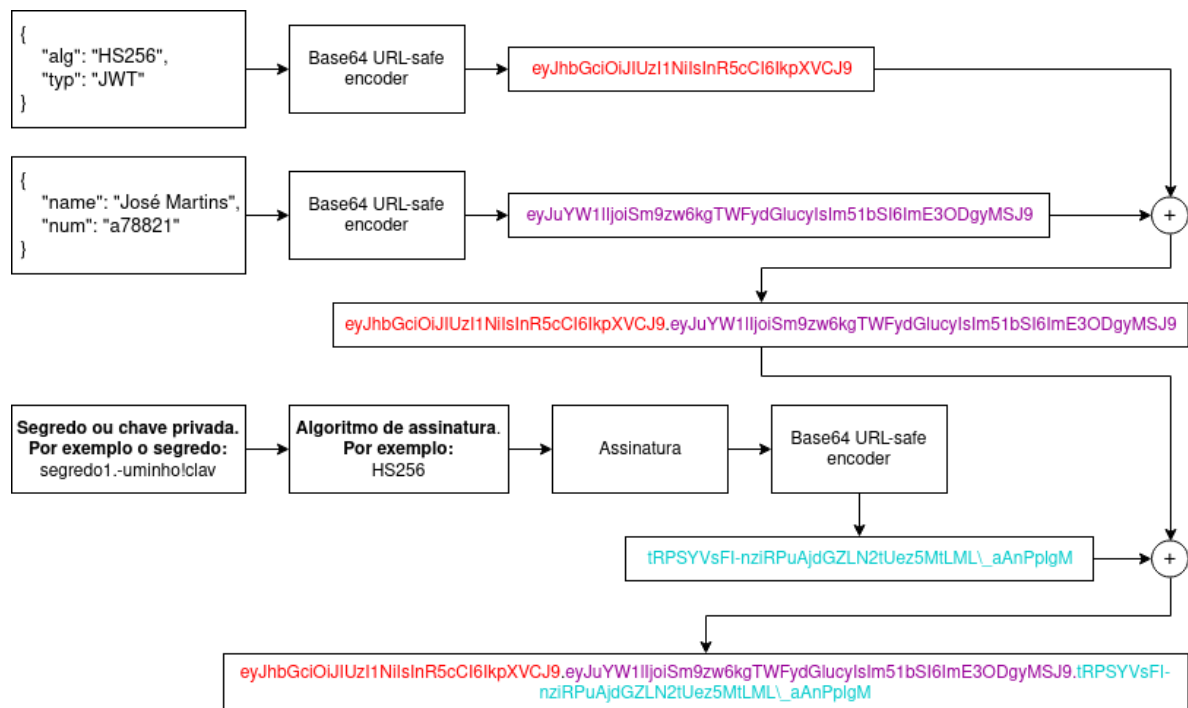


Figura 5: Criação de um JWS

2.2.3 Alternativas ao JWT

Algumas alternativas ao JWT passam pelo uso de Simple Web Token (SWT) ou Security Assertion Markup Language (SAML). Se compararmos o JWT ao SAML, o JSON é menos verboso que o XML e mesmo quando codificado o seu tamanho é menor.

De um ponto de vista de segurança o SWT apenas pode ser assinado simetricamente por um segredo partilhado usando o algoritmo HMAC. Já o JWT e o SAML podem usar pares de chaves pública/privada para assinar. Contudo assinar XML com XML Digital Signature sem introduzir buracos de segurança é mais difícil quando comparado com a simplicidade de assinar JSON. Autho (2019)

Houve contudo algumas bibliotecas de JWT com vulnerabilidades devido ao atributo alg da header do JWT. Havia duas situações de vulnerabilidade:

- As bibliotecas ao fazer a verificação (recebe um JWT e um segredo/chave pública como argumentos) de um JWT com alg igual a none assumiam logo que o JWT era válido mesmo que o segredo/chave pública fosse diferente de vazio. Ou seja, com a simples alteração do atributo alg e com a remoção da signature podia-se alterar o payload do JWT que o servidor iria continuar a considerar que a integridade do JWT não foi colocada em causa mesmo que os JWTs gerados pelo servidor tivessem sido com um algoritmo e com recurso a um segredo/chave privada.

- As bibliotecas ao fazer a verificação seja um algoritmo simétrico ou assimétrico apenas tinham como parâmetros o JWT e o segredo/chave pública. Isto gera uma segunda vulnerabilidade, se o servidor estiver à espera de um JWT assinado com pares de chaves pública/privada mas recebe um JWT assinado com HMAC vai assumir que a chave pública é o segredo a usar no algoritmo HMAC. Ou seja, se se criar um JWT com o atributo alg igual a HMAC e a assinatura for gerada usando o algoritmo HMAC com o segredo a ser a chave pública, podemos alterar o *payload* (antes de assinar) que o servidor vai considerar que o JWT não foi maliciosamente alterado.

Portanto a flexibilidade de algoritmos dada pelo JWT coloca em causa a segurança pelo que da parte das bibliotecas o atributo alg não deve ser considerado McLean (2015) bem como deve ser *deprecated* e deixar de ser incluído nos JWTs⁹.

A biblioteca que será usada na CLAV, jsonwebtoken, já endereçou estes problemas¹⁰ pelo que estas vulnerabilidades não estarão presentes na CLAV.

Por outro os *parsers* de JSON são mais comuns em grande parte das linguagens de programação visto que os JSONs mapeiam diretamente para objetos ao contrário do XML que não tem um mapeamento natural de documento para objeto. Autho (2019) Portanto isto torna mais fácil trabalhar com JWT do que com SAML.

Já quando comparamos os JWT a *cookie sessions*, o JWT tem a vantagem de as sessões puderem ser *stateless* enquanto que as *cookies* são *statefull*. Contudo, ser *stateless* não permite por exemplo que a qualquer altura se possa revogar um JWT. Para endereçar esse problema é necessário, por exemplo, guardar (*statefull*) os JWTs numa base de dados associando cada JWT ao identificador único de quem é a informação contida no JWT (o uso de uma *whitelist*). Assim para revogar um JWT bastaria removê-lo da base de dados.

Outra alternativa ao JWT seria *sessionIDs*. As *sessionIDs* são *strings* longas, únicas e aleatórias. É possível revogar um *sessionID*, ao contrário do JWT, bastando para isso remover o *sessionID* da base de dados. Mais à frente na secção ?? veremos outra possível alternativa com recurso a *API gateways* em que uma possível abordagem é dentro da *API gateway* ser através de JWTs, fora ser usado *sessionIDs* e na “entrada” da *API gateway* ter uma base de dados que associa os *sessionsIDs* aos JWTs.

Por fim, uma outra alternativa bastante semelhante ao JWT é *Branca*. *Branca* usa o algoritmo simétrico IETF XChaCha20-Poly1305 AEAD que permite criar *tokens* encriptados e que garantam integridade. Tem também uma região de *payload* como JWT com a única diferença é que este *payload* não tem um estrutura definida. Não necessita da *header* visto que o algoritmo usado não varia. Em vez de usar codificação em Base64 URL-safe usa Base62 que também é URL-safe. Para além disso o *token* gerado é geralmente de menor dimensão do que o gerado pelo JWT sendo como tal mais compacto que o JWT. Tuupola (2017) Visto que o *Branca* encripta e garante integridade de uma forma mais simples que o JWT permite (para isso era necessário recorrer a um JWE que tem no seu *payload* um JWS), sendo como tal propenso

⁹Ver <https://gist.github.com/paragonie-scott/c88290347c2589b0cd38d8bb6ac27c03>

¹⁰Ver <https://github.com/auth0/node-jwt-token/commit/1bb584bc382295eeb7ee8c4452a673a77a68b687>

a menos erros de programação. Contudo, o *Branca* ainda não é muito conhecido nem um *standard* da indústria, ao contrário do *JWT*, mas não deixa de ser algo a ter em conta para o futuro.

2.3 AUTORIZAÇÃO DE PEDIDOS À API

Quanto à forma como os pedidos serão feitos à *API* poderão ser feitos de duas formas, através da *header HTTP Authorization* ou através da *query string* do pedido em um dos seguintes campos:

token caso seja o token de um utilizador:

`http://example.com/path/page?token=<token>`

apikey caso seja uma Chave *API*:

`http://example.com/path/page?apikey=<Chave API>`

Na *header Authorization* irá se usar o esquema de autenticação *Bearer*¹¹ com umas pequenas alterações. Portanto o conteúdo da *header Authorization*:

- Caso seja o token de um utilizador:
token <token>
- Caso seja uma Chave *API*:
apikey <Chave API>

ao invés do esquema de autenticação predefinido do *Bearer*: *Bearer* <token/Chave API>

Convém referir que a Chave *API* é também um *token*. A divisão entre utilizadores e chaves *API* permite uma mais fácil gestão dos *tokens* recebidos pela *API* bem como usar duas formas diferentes de os gerar/verificar com o possível benefício de melhorar a segurança da *API*.

Os *tokens* gerados pela *API* serão *JWTs*. Contudo poderiam ser outro tipo de *tokens* (por exemplo uma *string* aleatória e única) que o processo de envio dos *tokens* para a *API* manter-se-ia igual.

Após descrito como poderão ser feitos os pedidos à *API*, irá ser apresentado possíveis fluxos de interação entre utilizadores (*browser*, *app*, etc) e o servidor da *API*.

O fluxo de autenticação de um utilizador na *API* a ser implementado será o seguinte:

¹¹Mais informação em <https://tools.ietf.org/html/rfc6750>

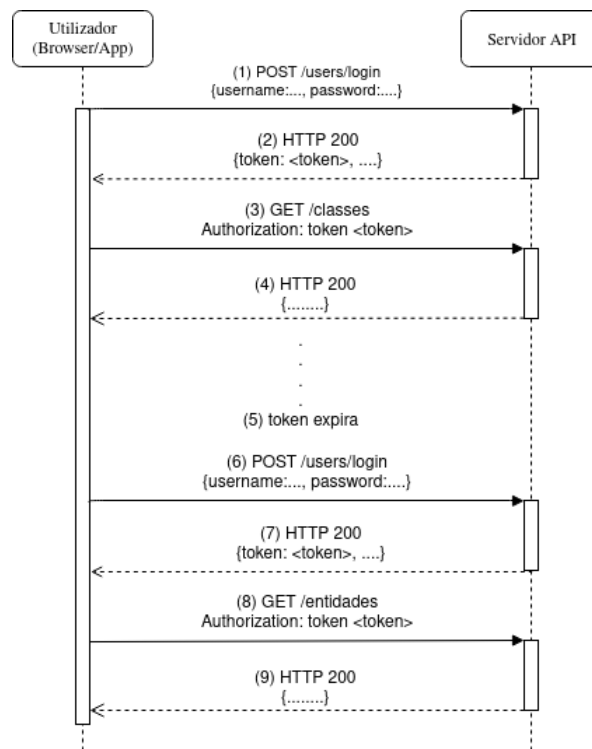


Figura 6: Fluxo de autenticação e posteriores pedidos de um utilizador

1. Utilizador autentica-se ao providenciar o seu *email* e a sua *password*
2. Caso o utilizador se autentique com sucesso é devolvido um *token* que deve ser usado nos restantes pedidos até expirar
3. Utilizador realiza um pedido para obter as classes, colocando o token na *header Authorization*
4. Caso o *token* enviado seja válido e não tenha expirado são devolvidas as classes
5. *Token* expirou após o tempo definido
6. Utilizador realiza uma nova autenticação por forma a obter um novo *token*
7. Caso o utilizador se autentique com sucesso é devolvido um *token* que deve ser usado nos restantes pedidos até expirar
8. Utilizador realiza um pedido para obter as entidades, colocando o token na *header Authorization*
9. Caso o *token* enviado seja válido e não tenha expirado são devolvidas as entidades

O fluxo de autenticação e renovação de uma Chave API na API a ser implementado será o seguinte:

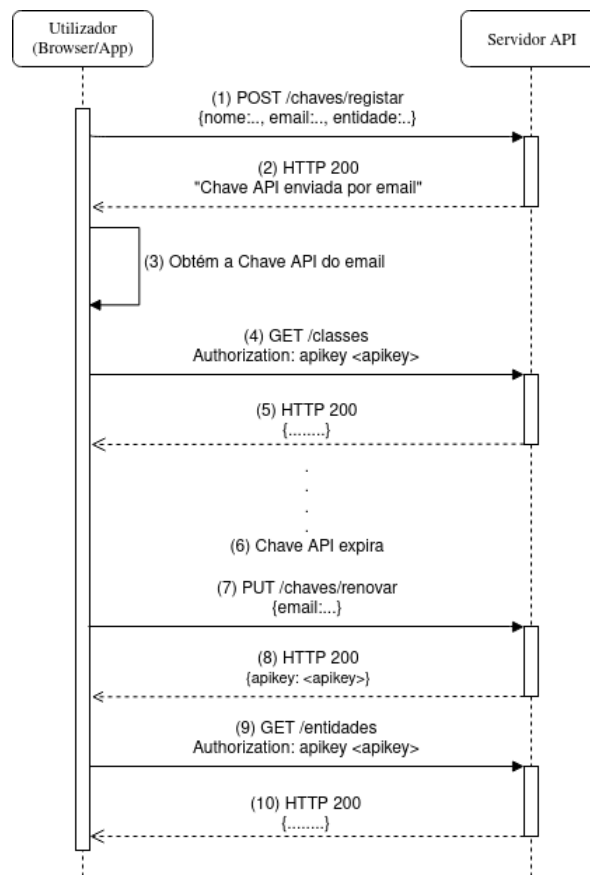


Figura 7: Fluxo de autenticação e posteriores pedidos de uma chave API

1. Utilizador cria uma chave API ao providenciar o nome, email e entidade
2. A Chave API é enviada para o email fornecido pelo utilizador com o objetivo de ser usada nos próximos pedidos
3. O utilizador obtém a chave API do email enviado
4. Utilizador realiza um pedido para obter as classes, colocando a chave API na *header Authorization*
5. Caso a Chave API enviada seja válida e não tenha expirado são devolvidas as classes
6. Chave API expirou após o tempo definido
7. Utilizador renova a Chave API ao providenciar o email usado para criar a Chave API
8. A nova (renovada) Chave API é devolvida para ser usada nos restantes pedidos
9. Utilizador realiza um pedido para obter as entidades, colocando a Chave API na *header Authorization*
10. Caso a Chave API enviada seja válida e não tenha expirado são devolvidas as entidades

2.3.1 Verificação dos tokens no servidor API

Para proteger as rotas da API é necessário haver métodos de verificação dos *tokens* com o objetivo de decidir se o utilizador/Chave API pode aceder a uma determinada rota. De seguida será apresentado o pseudo-código de verificação dos *tokens* tendo em conta que os utilizadores registados conseguem aceder a todas as rotas que as Chaves API conseguem mas que o inverso não acontece. Ou seja, um utilizador registado até o de nível mais baixo por exemplo, consegue aceder a todas as rotas que as Chaves API tem acesso e mais algumas nas quais as Chaves API não têm permissões de acesso.

Por forma a validar se uma Chave API pode aceder a uma determinada rota pode ser executada a seguinte função em *middleware*:

```
function isLoggedInKey(req, res, next)
  key = getJWTfromHeaderOrQueryString('apikey')

  if key then
    keyBD = getKeyFromMongoDB(key)
    if keyBD then
      res = jwt.verify(key, secretForAPIkey)
      if res != expired then
        if keyBD.active == True then
          return next()
        else
          return err
      else
        return err
    else
      return err
  else
    return isLoggedInUser(req, res, next)
```

Exemplo 2.4: Verificação se um pedido com uma determinada Chave API pode ser efetuado

É importante destacar a chamada da função `isLoggedInUser` que é executada no caso de não ser detetado uma Chave API no pedido (na *header Authorization* ou na *query string apikey*) e como tal, com essa chamada, tenta-se perceber se afinal foi passado um *token* de um utilizador já que todos os utilizadores conseguem aceder às rotas que as Chaves API conseguem como já referido.

No seguimento, para validar se um determinado *token* de um utilizador registado pode aceder a uma determinada rota pode ser executada a seguinte função em *middleware*:

```
function isLoggedInKey(req, res, next)
  key = getJWTfromHeaderOrQueryString('token')

  if key then
    res = jwt.verify(key, secretForToken)
    if res != expired then
```

```

    if keyBD.active == True then
        return next()
    else
        return err
    else
        return err
else
    return err

```

Exemplo 2.5: Verificação se um pedido com um determinado *token* de um utilizador registado pode ser efetuado

A obtenção do *token* bem como a verificação deste *token* pode ser obtido através da utilização da estratégia do passport chamada `passport-jwt`.

Além disso as obtenções dos *tokens* tanto das Chaves API como de *tokens* de utilizadores registados podem ser obtidos através da utilização de extratores presentes na estratégia `passport-jwt`. Assim para extrair o *token* da *query string* basta:

```

var ExtractJWT = require("passport-jwt").ExtractJwt
token = ExtractJWT.fromUrlQueryParameter("<nome do campo, 'token' ou 'apikey' no caso da CLAV>")

```

Exemplo 2.6: Extração do *token* da *query string*

Já para extrair o *token* da *header Authorization* bastaria:

```

var ExtractJWT = require("passport-jwt").ExtractJwt
token = ExtractJWT.fromAuthHeaderWithScheme("<palavra antes do token, 'Bearer' no caso dum bearer token, 'token' ou 'apikey' no caso da CLAV>")

```

Exemplo 2.7: Extração do *token* da *header Authorization*

Para verificar se o utilizador registado tem um nível suficiente para aceder a uma rota, depois de se verificar que o utilizador está autenticado (`isLoggedInUser`), deve-se executar também em *middleware* a seguinte função:

```

function checkLevel(clearance)
    return function(req, res, next)
        havePermissions = False

        if clearance is Array then
            if req.user.level in clearance then
                havePermissions = True
            else
                if req.user.level >= clearance then
                    havePermissions = True

        if havePermissions then
            return next()
        else

```

```
return err
```

Exemplo 2.8: Verificação se um utilizador registado tem permissões suficientes para aceder a uma determinada rota

Ou seja, a variável `clearance` poderá ser uma lista de números ou apenas um número. No primeiro caso verifica-se que o nível do utilizador está presente na lista, em caso afirmativo então o utilizador tem permissões para aceder. Já no segundo caso, o utilizador só terá permissões para aceder se o seu nível foi igual ao superior ao `clearance`.

Com estas três funções (`isLoggedInKey`, `isLoggedInUser` e `checkLevel`) é possível proceder à proteção da API da CLAV garantindo que utilizadores com diferentes níveis de acesso apenas conseguem aceder ao que lhes é permitido.

2.4 AUTENTICAÇÃO.GOV

O Autenticação.gov surgiu da necessidade de identificação unívoca de um utilizador perante sítios na Web. AMA (2018) Será esta quem realiza o processo de autenticação do utilizador e que fornecerá os atributos do utilizador necessários para identificar o utilizador numa entidade (*website*/portal).

O CC em conjunto com o Autenticação.gov permite obter os identificadores dos utilizadores junto das entidades participantes da iniciativa do CC (funcionalidade de Federação de Identidades da Plataforma de Interoperabilidade da Administração Pública). Além disso, o Autenticação.gov gere os vários fornecedores de atributos disponíveis bem como possui uma estreita ligação com a infraestrutura de chave pública do Cartão de Cidadão (Public Key Infrastructure (PKI)), com o intuito de manter os elevados níveis de segurança e privacidade no processo de autenticação e identificação. AMA (2018)

O Autenticação.gov permite também a criação de credenciais comuns a todos os sites da AP, ou seja, o utilizador apenas necessita de se autenticar uma vez que poderá aceder aos vários portais (Portal do Cidadão, etc) com a mesma autenticação.

Para além disso o utilizador pode autenticar-se utilizando outros certificados digitais que não o CC (por exemplo Chave Móvel Digital (CMD), *user+password* ou redes sociais, estes dois últimos quando o *website*/portal necessita apenas de conhecer do utilizador o *email*).

No projeto CLAV irá ser implementado a autenticação com recurso ao Autenticação.gov através de dois certificados digitais diferentes:

- **Cartão de Cidadão (CC)**: Já se encontra implementado como referido na secção 2.1.2. A autenticação é realizada através da leitura do CC (através de um leitor de cartões sendo necessário a instalação de *software* do Autenticação.gov para proceder à leitura do CC) e posterior inserção do PIN de autenticação recebido quando se cria/renova o CC.
- **Chave Móvel Digital (CMD)**: Um dos objetivos desta tese é a implementação da autenticação com recurso a este certificado digital. Com o CMD, após o utilizador associar

um número de telemóvel ao **NIC**, o utilizador pode autenticar-se com o número de telemóvel, o código **PIN** da **CMD** e o código de segurança temporário enviado por **SMS**.

De forma a completar a figura 2 apresenta-se de seguida o fluxo de pedidos efetuado entre o **CLAV** e o Autenticação.gov de forma a autenticar um utilizador na **CLAV**: **AMA (2018)**

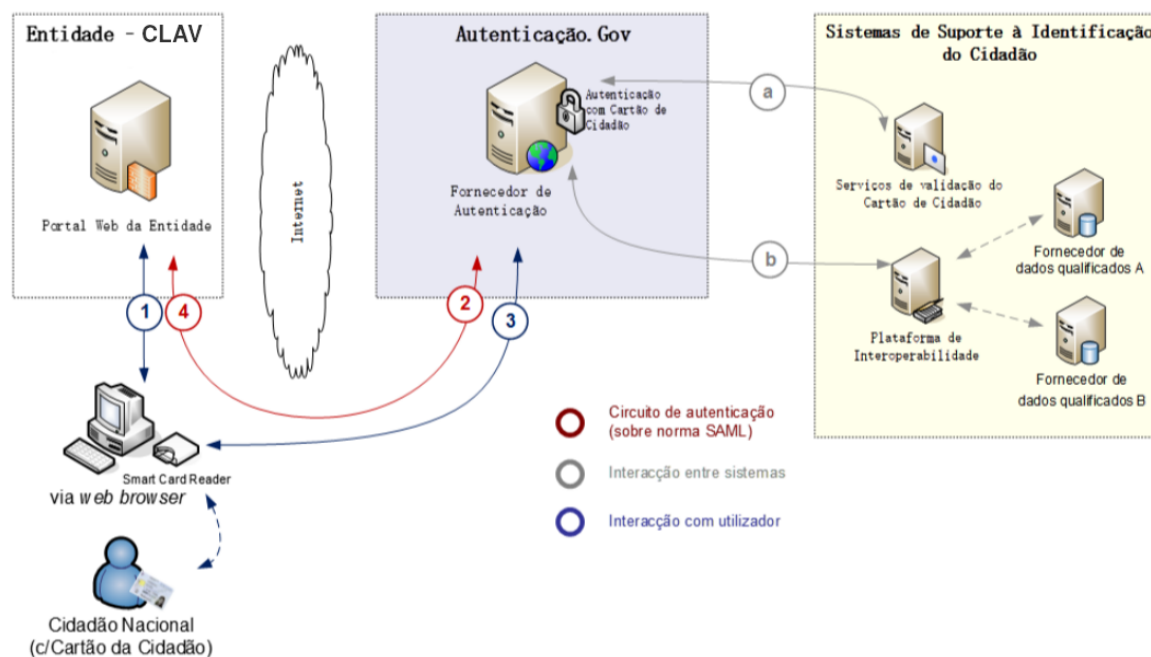


Figura 8: Fluxo de pedidos entre **CLAV** e o Autenticação.gov de forma a autenticar um utilizador na **CLAV**. Fonte: **AMA (2018)**

- O utilizador pretende aceder à área privada do portal de uma entidade (do **CLAV**), na qual é necessário que comprove a sua identidade;
- O portal da entidade (**CLAV**) delega a autenticação e redireciona o utilizador para o **Autenticação.gov**, juntamente com um pedido de autenticação assinado digitalmente;
- O **Autenticação.gov** valida o pedido de autenticação recebido e solicita a autenticação do utilizador com recurso ao seu **CC** pedindo a inserção do seu **PIN** de autenticação. Durante este processo, o **Autenticação.gov** efetua as seguintes operações internas:
 - Valida as credenciais do utilizador com recurso à **PKI** do **CC** via **OCSP**
 - Obtém atributos que sejam solicitados pelo portal da entidade (**CLAV**) junto dos vários fornecedores de atributos qualificados. Esta operação é efetuada via **Plataforma de Interoperabilidade**. Este processo pode incluir a obtenção de dados da **Federação de Identidades** ou de outras Entidades.
- A identificação e atributos do utilizador são autenticadas e assinados digitalmente pelo **Autenticação.gov**, após o que redireciona o utilizador de volta ao portal da entidade ori-

ginal (CLAV). Cabe à entidade (CLAV) a validação das credenciais do Autenticação.gov e utilização dos atributos do cidadão.

A troca de pedidos entre o CLAV e o Autenticação.gov é feita através de SAML 2.0 (com as extensões que a AMA considera obrigatórias). De seguida será feita uma pequena introdução ao SAML 2.0.

2.4.1 SAML 2.0

O Security Assertion Markup Language (SAML) define uma *framework standard* em XML. Lockhart et al. (2005) Foi aprovado pela OASIS e permite a troca segura de informação de autenticação e autorização entre diferentes entidades. Através do SAML é possível através de uma credencial (*login* de um utilizador) aceder autenticado a um conjunto de *websites*. Esta funcionalidade é conhecida por Single Sign On (SSO).

Existem três tipos de papéis em SAML: Petters (2018)

- Utilizador
- *Identity Provider*: Realiza a autenticação de quem o utilizador é quem diz ser e envia essa informação ao *Service Provider* junta com as permissões de acesso do utilizador para o serviço
- *Service Provider*: Precisa de autenticação do *Identity Provider* para poder dar autorização ao utilizador

O documento XML enviado pelo *Identity Provider* para o *Service Provider* é conhecida por SAML Assertion. Existem três tipos de SAML Assertion: Petters (2018)

- *Authentication Assertion*: Prova a identificação de um utilizador e fornece a hora em que o utilizador se autenticou e o método de autenticação usado
- *Attribution Assertion*: Envia SAML attributes (formato de dados que contém informação acerca do utilizador) para o *Service Provider*
- *Authorization Assertion*: Indica se o utilizador está autorizado a usar o serviço ou se o *Identity Provider* recusou o pedido à inserção de uma password errada ou por falta de permissões para usar o serviço

No projeto CLAV o utilizador final é o utilizador da CLAV, o *Identity Provider* é representado pelo Autenticação.gov e o *Service Provider* é representado pela CLAV.

2.5 SWAGGER

O Swagger é um ecossistema de ferramentas para desenvolver APIs com a OpenAPI Specification (OAS).

Até 2015 o *Swagger* consistia numa especificação e num ecossistema de ferramentas para implementar a especificação. Em 2015 a fundadora do *Swagger*, *SmartBear Software*, doou a especificação *Swagger* para a *Linux Foundation* e renomeou a especificação para *OpenAPI Specification*. [Swagger \(2019\)](#)

A especificação *OpenAPI* é agora desenvolvida pela *OpenAPI Initiative* que envolve várias empresas tecnológicas entre as quais *Microsoft*, *Google*, *IBM* e a fundadora *Smartbear Software*.

Já o conjunto de ferramentas *Swagger* inclui ferramentas *open-source*, gratuitas e comerciais que podem ser usadas em diferentes estágios do ciclo de vida de uma *API*, que inclui documentação, desenho, testes e *deployment*. Algumas das ferramentas são: [Pinkham \(2017\)](#)

- **Swagger Editor**: Permite editar especificações *OpenAPI* em *YAML* no *browser*¹², validar as especificações em relação às regras do *OAS* bem como pré-visualizar a documentação em tempo real. Facilita o desenho e a documentação de *APIs REST*
- **Swagger UI**: Coleção de *assets HTML*, *JavaScript* e *CSS* que geram dinamicamente documentação a partir de uma especificação *OpenAPI* de uma *API*
- **Swagger Codegen**: Permite a geração de bibliotecas cliente (geração de *SDK*), *server stubs* e documentação automática a partir de especificações *OpenAPI*
- **Swagger Inspector** (gratuita): Ferramenta de testes de *APIs* que permite validar as *APIs* e gerar definições *OpenAPI* de *APIs* existentes
- **SwaggerHub** (gratuita e comercial): Desenho e documentação de *APIs*, construído para equipas que trabalham com *OpenAPI*

O *Swagger* possui duas abordagens: [Vasiljevic \(2017\)](#)

- *top-down*: Uso do *Swagger Editor* para criar a especificação *OpenAPI* e depois usar o *Swagger Codegen* por forma a gerar o código do cliente e do servidor. Ou seja, primeiro desenha-se a *API* antes de escrever código
- *bottom-up*: Utilizador já possui uma *API REST* e o *Swagger* irá ser usado apenas para documentar a *API* existente

Visto que o *CLAV* já possui grande parte da *API* construída vai ser usada uma abordagem *bottom-up*. Portanto, o *Swagger* vai ser usado apenas para uma das últimas fases da construção da *API*, a documentação da *API*. De forma a produzir a documentação, do portfólio de ferramentas do *Swagger* apenas precisaremos de utilizar o *Swagger UI* e o *Swagger Editor*. O primeiro permitirá apresentar aos utilizadores a documentação gerada e o segundo permitirá validar a especificação *OpenAPI* (documentação) criada, verificando se não possui erros.

¹² Aceder <https://editor.swagger.io/>

2.5.1 Especificação OpenAPI

A especificação *OpenAPI* providencia um conjunto de propriedades que podem ser usadas para descrever uma *API REST*. Com um documento de especificação válido é possível usá-lo para criar uma documentação interativa, por exemplo, através do *Swagger UI*.

De seguida será apresentado o que é possível documentar com a especificação *OpenAPI* e como. É possível usar *YAML* como *JSON* para a especificar. Esta parte será demonstrada usando *YAML*.¹³

Metadata

O primeiro passo é escolher a versão da especificação *OpenAPI* que irá ser usada para documentar:

```
openapi: 3.0.0
```

Exemplo 2.9: Exemplo de indicação da versão da especificação *OpenAPI*

Depois na secção *info* é possível descrever um pouco sobre a *API* que estamos a documentar, indicando o título, a descrição e a versão da *API*. As propriedades *title* e *version* são obrigatórias. É possível também colocar informação sobre os contactos disponíveis, termos de uso e a licença.¹⁴

```
info:
  title: CLAV API
  description: Esta é a API do projeto CLAV...
  version: 1.0.0
```

Exemplo 2.10: Exemplo de secção *info* indicando título, descrição e versão da *API* na especificação *OpenAPI*

Servidores

Há depois uma secção com o nome de *servers* para indicar os *URLs* da *API* que se pode aceder. Podem ser indicados mais do que um *URL*.¹⁵

```
servers:
- url: http://clav-api.dglab.gov.pt/api
  description: Official API server
- url: http://clav-test.di.uminho.pt/api
  description: Testing server
```

¹³A especificação completa do *OpenAPI* com versão igual a 3.0.0 pode ser vista em <https://github.com/OAI/OpenAPI-Specification/blob/master/versions/3.0.0.md>

¹⁴Ver mais em <https://github.com/OAI/OpenAPI-Specification/blob/master/versions/3.0.0.md#infoObject>

¹⁵Para mais detalhes sobre esta secção veja <https://swagger.io/docs/specification/api-host-and-base-path/>

```
- url: http://localhost:7779/api
  description: Local server
```

Exemplo 2.11: Exemplo de secção servers indicando os *URLs* e a descrição de cada na especificação *OpenAPI*

Caminhos/Rotas

De seguida apresenta-se uma das secções mais importantes da especificação, a secção *paths*. Aqui são definidas as rotas que a *API* disponibiliza. Para definir cada rota basta indicar o caminho relativo aos definidos na secção *servers* (<server-url>/<caminho relativo>). Nesta secção é definido tudo que envolve as rotas, desde os parâmetros necessários, as respostas que devolve, os métodos *HTTP* disponíveis, etc:^{16,17}

```
paths:
  /users/{id}:
    get:
      summary: Resumo do que faz a rota
      description: >
        Descrição detalhada, pode ser usado Markdown para enriquecer o texto
      parameters:
        - name: id
          in: path
          description: Id do utilizador
          required: true
          schema:
            type: string
      responses:
        200:
          description: Descrição da resposta, p.e: Sucesso
          content:
            application/json:
              schema:
                #A estrutura do JSON devolvido pode ser definido logo aqui ou num componente à
                #parte, fazendo referência desse. Iremos aplicar o segundo caso para
                #demonstrar que estas funcionalidades tornam a documentação mais fácil de
                #manter
                $ref: '#/components/schemas/User'
    post:
      ...
    delete:
      ...
  /users:
    ...

components:
```

¹⁶Mais detalhes em <https://swagger.io/docs/specification/paths-and-operations/>

¹⁷mais detalhes sobre a funcionalidade \$ref em <https://swagger.io/docs/specification/using-ref/>

```
schemas:
  User:
    type: object
    properties:
      id:
        type: string
    ...
    required:
      - id
    ...
```

Exemplo 2.12: Exemplo de secção paths indicando os detalhes de cada rota na especificação *OpenAPI*

Outro ponto importante a referir é que é possível agrupar as rotas em grupos através do uso de *tags*. As *tags* tem de ser definidas numa secção chamada *tags*:

```
tags:
  - name: users
    description: Descrição
  - name: classes
    description: Outra descrição
```

Exemplo 2.13: Exemplo de secção tags definindo tags na especificação *OpenAPI*

Depois em cada rota é necessário indicar a que *tag* (grupo) pertence:

```
paths:
  /users/{id}:
    get:
      summary: Resumo do que faz a rota
      tags:
        - users
    ...
```

Exemplo 2.14: Exemplo de uso de *tags* numa rota na especificação *OpenAPI*

Parâmetros

Como já exemplificado no exemplo 2.12 os parâmetros de uma rota são definidos na secção *parameters* de cada rota. Existem quatro tipo de parâmetros que variam de acordo com o local onde se encontram. O tipo de um parâmetro é definido na propriedade *in* de um parâmetro e pode ser um dos seguintes:

- Parâmetros no caminho: Servem normalmente para apontar para um recurso específico. Estes parâmetros são sempre obrigatórios como tal a propriedade *required* com o valor igual a verdadeiro deve ser sempre adicionado. Para além disso o *name* tem de ser igual ao que está no caminho. A propriedade *in* tem o valor de *path*.

- Parâmetros na *query string*: A propriedade *in* tem o valor de *query*. No caso de tokens passados em parâmetros da *query string* deve-se usar esquemas de segurança, veja a secção 2.5.1 Autenticação.
- Parâmetros no cabeçalho: A propriedade *in* tem o valor de *header*. Contudo os cabeçalhos *Accept*, *Content-Type* e *Authorization* não são aqui definidos.
- Parâmetros no cabeçalho da *Cookie*: A propriedade *in* tem o valor de *cookie*.

Cada parâmetro tem várias propriedades que permitem defini-lo:¹⁸

- *required*: Indica se o parâmetro é obrigatório ou opcional. Possíveis valores são *true* ou *false*.
- Na propriedade *schema*:
 - *default*: Valor padrão de um parâmetro opcional
 - *type*: O tipo do parâmetro. Possíveis valores: *string*, *integer*, etc
 - *enum*: Indica os possíveis valores para o parâmetro
 - *nullable*: Indica se o parâmetro pode ser *null*. Possíveis valores são *true* ou *false*.
- *allowEmptyValue*: Indica se o parâmetro pode ser vazio. Apenas aplicável no caso de um parâmetro na *query string*. Possíveis valores são *true* ou *false*.
- *example*: Um exemplo do valor
- *examples*: Múltiplos exemplos
- *deprecated*: Indica se o parâmetro é ou não *deprecated*. Possíveis valores são *true* ou *false*.

Request Body

O *request body* é definido em cada rota na secção *requestBody* sendo usado essencialmente em rotas com o método HTTP igual a POST ou a PUT, ou seja, em casos que há necessidade de criar ou alterar um objeto de acordo com a informação fornecida no pedido. As propriedades que podem ser definidas no *requestBody* são as seguintes:^{19,20}

- *description*: Opcionalmente pode ser adicionada uma descrição
- *required*: Indica se o *request body* é obrigatório ou opcional. Possíveis valores são *true* ou *false*. Por padrão o *request body* é opcional.
- *content*: Obrigatório. Lista os *media types* consumidos pela rota e especifica o *schema* para cada *media type*

¹⁸Mais detalhes em <https://swagger.io/docs/specification/describing-parameters/>

¹⁹Para mais detalhes, desde *upload* de ficheiros, a *Form Data*s, veja em <https://swagger.io/docs/specification/describing-request-body/>

²⁰Para mais informação sobre os *media types* veja <https://swagger.io/docs/specification/media-types/>

Respostas

Nesta secção, propriedade *responses* de cada rota, é descrita as possíveis respostas de cada rota. Na propriedade será definido as várias respostas, sendo uma resposta por cada [HTTP status code](#) possível de ser devolvido. Cada resposta pode possuir as seguintes propriedades:²¹

- *description*: Obrigatório, descrição da resposta
- *content*: Opcional, semelhante ao *content* do *request body* e define o conteúdo que é devolvido.
- *headers*: Opcional, define as *headers* que são devolvidas na resposta

Adição de Exemplos

Na secção 2.5.1 Parâmetros já se referiu como é possível adicionar exemplos aos parâmetros. De forma semelhante o mesmo pode ser realizado tanto no *request body* como nas respostas através da propriedade *example* (um exemplo) ou *examples* (múltiplos exemplos) aninhado na propriedade *schema* ou aninhado no *media type* no caso do *schema* ser apenas uma referência para um modelo presente na secção *components*. A propriedade *example* pode também ser usada em objetos ou propriedades de um *schema*. Por fim, para adicionar exemplos de [XML](#) ou [HTML](#) os exemplos devem ser exemplificados como *strings*:²²

```
content:
  application/xml:
    schema:
      $ref: '#/components/schemas/xml'
    examples:
      xml:
        summary: A sample XML response
        value: '<objects><object><id>1</id><name>new</name></object><object><id>2</id></object></objects>'
  text/html:
    schema:
      type: string
    examples:
      html:
        summary: A list containing two items
        value: '<html><body><ul><li>item 1</li><li>item 2</li></ul></body></html>'
```

Exemplo 2.15: Exemplo de adição de exemplos para [XML](#) e [HTML](#) na especificação *OpenAPI*

²¹Mais detalhes em <https://swagger.io/docs/specification/describing-responses/>

²²Mais detalhes em <https://swagger.io/docs/specification/adding-examples/>

Modelos

A secção `schemas` presente na secção `components` permite definir estruturas de dados (modelo) a serem usados na [API](#). Estes modelos podem ser referenciados usando a funcionalidade `$ref`.²³

Autenticação e Autorização

Nesta secção será demonstrada como se pode adicionar a autenticação e autorização à especificação *OpenAPI*. Para tal é necessário criar *security schemes*. Os esquemas são definidos na secção `securitySchemes` dentro da secção `components`. Para cada esquema de segurança é necessário definir a propriedade `type`. Na especificação é possível descrever os seguintes esquemas de segurança:

- Esquemas de autenticação [HTTP](#) (usam o cabeçalho *Authorization*) (`type = http`):
 - *Basic* (propriedade `scheme = basic`)
 - *Bearer* (propriedade `scheme = bearer` e pode também ser definido o formato do *Bearer* (a palavra usada antes de indicar o *token*) através da propriedade `bearerFormat`)
 - Outros esquemas [HTTP](#) definidos pelo [RFC 7235](#) e pelo registo de esquemas de autenticação [HTTP](#)
- Chaves [API](#) no cabeçalho, na *query string* ou em *cookies* (`type = apiKey` e na propriedade `in` indicar em que local se encontra, se no cabeçalho (`header`), se na *query string* (`query`) ou se nas *cookies* (`cookie`))
- *OAuth 2* (`type = oauth2`)
- *OpenID Connect Discovery* (`type = openIdConnect`)

Após definir os esquemas de segurança é necessário aplicá-los nas rotas que devem estar protegidas por esses esquemas. Para tal em cada rota pode ser definida a propriedade `security` e indicar os esquemas de segurança que essa rota suporta.²⁴

Alternativas

Em termos de alternativas à especificação *OpenAPI* existem duas concorrentes: [RAML](#)²⁵ e [API Blueprint](#)²⁶.

Comparemos as três hipóteses: [Sandoval \(2016\)](#)

²³Mais detalhes em <https://swagger.io/docs/specification/data-models/>

²⁴Mais detalhes em <https://swagger.io/docs/specification/authentication/>

²⁵Ver <https://github.com/raml-org/raml-spec/blob/master/versions/raml-10/raml-10.md/>

²⁶Ver <https://github.com/apiaryio/api-blueprint/blob/master/API%20Blueprint%20Specification.md>

Especificação	Vantagens	Desvantagens
<i>OpenAPI</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Grande adoção • Grande comunidade de utilizadores • Bom suporte • Suporte para várias linguagens 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de construtores avançados para metadados
<i>RAML</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Suporta construções avançadas • Adoção decente • <i>Human readable format</i> • Grande apoio da indústria 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de ferramentas ao nível do código • Ainda não comprovado a longo prazo
<i>API Blueprint</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de entender • Simples de escrever 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouca adoção • Falta de construtores avançados • Instalação complexa

Tabela 1: Comparação entre especificações de documentação de APIs

Além das vantagens apresentadas as três são *open-source*. Para além disso, o *OpenAPI* pode ser escrito em *JSON* ou *YAML*, o *RAML* é escrito em *YAML* e o *API Blueprint* é escrito em *Markdown*. Escolheu-se a especificação *OpenAPI* devido à sua grande adoção e por permitir usar o ecossistema de ferramentas *Swagger*.

2.5.2 Swagger UI

O *Swagger UI* permite a qualquer um visualizar uma *API REST*. A partir de um documento *JSON* ou *YAML* (especificação *OpenAPI*) é automaticamente gerado uma documentação interativa.

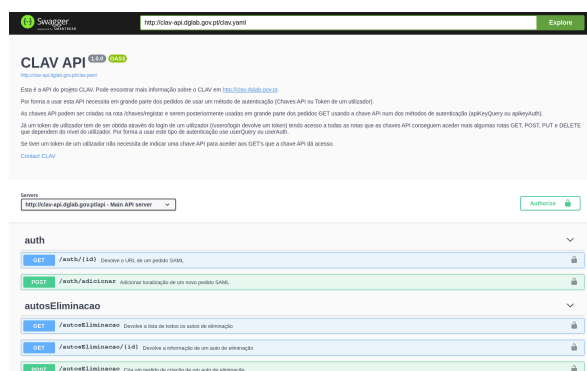


Figura 9: Swagger UI exemplo

Alternativas

Existem várias alternativas ao *Swagger UI*:

Ferramenta	Vantagens	Desvantagens
<i>Swagger UI</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Suporta a especificação <i>OpenAPI</i> • <i>Open-source</i> • Amplamente usado 	
<i>Apiary</i> ²⁷	<ul style="list-style-type: none"> • Suporta a especificação <i>API Blueprint</i> e a especificação <i>OpenAPI</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessário pagar de forma a poder integrar a documentação da <i>API</i> num domínio próprio • <i>Closed-source</i>
<i>API Console</i> ²⁸	<ul style="list-style-type: none"> • Suporta a especificação <i>RAML</i> e a especificação <i>OpenAPI</i> • <i>Open-source</i> 	
<i>Slate</i> ²⁹	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Open-source</i> • <i>API</i> definida em <i>Markdown</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Não suporta nenhuma especificação
<i>apiDoc</i> ³⁰	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação criada a partir das anotações nos comentários do código • <i>Open-source</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Não suporta nenhuma especificação
<i>ReDoc</i> ³¹	<ul style="list-style-type: none"> • Suporta a especificação <i>OpenAPI</i> • <i>Open-source</i> • Fácil de integrar 	

Tabela 2: Comparação entre ferramentas de *APIs*

De forma a escolher a ferramenta apropriada é necessário ter em conta que:

- Não há financiamento
- Já existe uma *API* desenvolvida

²⁷Ver <https://apiary.io/>

²⁸Ver <https://github.com/mulesoft/api-console>

²⁹Ver <https://github.com/slatedocs/slate>

³⁰Ver <https://apidocjs.com/>

³¹Ver <https://github.com/Redocly/redoc>

- A documentação deve estar acessível de um domínio próprio
- A documentação deve ser fácil de criar, de editar e de manter
- Será usada a especificação *OpenAPI*

As escolhas ficam como tal reduzidas ao *Swagger UI* e ao *ReDoc*. Optou-se por escolher o *Swagger UI* visto ser a ferramenta mais amplamente usada para além de que é possível obter também uma fácil integração no *Swagger UI* com recurso à package *swagger-ui-express*.

2.6 DOCUMENTAÇÃO DA API DO CLAV

Agora sabendo que será usada a especificação *OpenAPI* e o *Swagger* é importante perceber que bibliotecas devem ser usadas para a produção da documentação.

Existem duas *packages* que podem ser usados para criar documentação interativa para uma *API REST* criada com *Node.js* e *Express.js*: Vasiljevic (2017)

- *swagger-node-express*
 - Vantagens
 - * Módulo oficial suportado pelo *Swagger*
 - * É *open-source* e como tal é possível contribuir para a correção de problemas
 - * A solução contém *Swagger Editor* e *Swagger Codegen* e como tal tanto podemos usar uma abordagem *top-down* como *bottom-up*
 - Desvantagens
 - * Instalação manual do *Swagger UI*. O código do *Swagger UI* tem de ser copiado manualmente para o projeto e sempre que há uma atualização é necessário copiar manualmente de novo
 - * Instalação complexa. Por forma a aplicação hospedar a documentação é necessário adicionar algumas rotas ao servidor para além das já definidas na especificação *OpenAPI*
 - * Fraca documentação
- *swagger-ui-express*
 - Vantagens
 - * É *open-source* e como tal é possível contribuir para a correção de problemas
 - * Não é necessário copiar manualmente o *Swagger UI*
 - * De fácil instalação, apenas é necessário adicionar uma rota aonde estará hospedada a documentação
 - * Boa documentação

– Desvantagens

- * Não é o módulo oficial suportado pelo *Swagger*

Das duas foi escolhida a *swagger-ui-express* visto ser de mais simples implementação e de mais fácil manutenção.

```
var swaggerUI = require('swagger-ui-express')
//JSON
var swaggerDocument = require('./swagger.json')
//ou YAML
var yaml = require('js-yaml')
var fs = require('fs')
var swaggerDocument = yaml.load(fs.readFileSync('./swagger.yaml'))

app.use('/doc', swaggerUI.serve, swaggerUI.setup(swaggerDocument));
```

Exemplo 2.16: Exemplo de uso do *swagger-ui-express*

No exemplo 2.16 a documentação da API está presente na rota `/doc`. Neste exemplo é exemplificado como carregar uma especificação *OpenAPI* em JSON bem como em YAML. Quanto ao *middleware* serve retorna os ficheiros estáticos necessários para hospedar o *Swagger UI*. Já o segundo *middleware* setup para além de poder receber o documento com a especificação *OpenAPI* pode também receber um outro parâmetro de opções que o utilizador pode definir para a apresentação interativa da documentação com o *Swagger UI*³².

Agora há duas abordagens possíveis de realizar a documentação:

- Documentação de cada rota nos comentários da rota através da utilização da *package* *swagger-jsdoc*³³
- Documentação à parte do código

A abordagem escolhida foi a da documentação à parte do código por forma a modularizar a documentação. A modularização da documentação foi realizada através do uso da *package* *yaml-include*³⁴. Esta *package* permite que o documento YAML da especificação *OpenAPI* possa ser dividida por vários ficheiros. Ela permite a inclusão de arquivos YAML externos ou a inclusão de pastas de ficheiros YAMLS. Esta é funcionalidade é desaprovada pela equipa d desenvolvimento do YAML contudo é de grande ajuda e de simplificação da construção do ficheiro de especificação *OpenAPI*.

```
openapi: 3.0.0
info:
  description: Esta é a API do projeto CLAV. Pode encontrar mais informação sobre o CLAV em [
    http://clav.dglab.gov.pt](http://clav.dglab.gov.pt).
```

³²As opções possíveis estão presentes em <https://github.com/scottie1984/swagger-ui-express>. Para o atributo (opção) *swaggerOptions* as opções possíveis estão presentes em <https://github.com/swagger-api/swagger-ui/blob/master/docs/usage/configuration.md>

³³Ver <https://github.com/Surnet/swagger-jsdoc>

³⁴Ver <https://github.com/claylo/yaml-include>

```
version: 1.0.0
title: CLAV API
contact:
  name: CLAV
  email: clav@dglab.gov.pt
servers:
  - url: http://localhost:7779/api
    description: Local API server
paths: !!inc/dir [ 'paths' ]
components:
  schemas: !!inc/dir [ 'schemas', excludeTopLevelDirSeparator: true ]
```

Exemplo 2.17: Exemplo de uso do `yaml-include` no documento de especificação *OpenAPI* (*index.yaml*)

O ficheiro *index.yaml* será a raiz do documento de especificação *OpenAPI* a ser gerado com a *package* `yaml-include`. A estrutura dos ficheiros para gerar o documento de especificação *OpenAPI* final exemplifica como se pode dividir a documentação por vários ficheiros com esta *package*:

```
* index.yaml
* paths/
  * classes/
    * get.yaml
    * ~id/
      * get.yaml
  * users/
    * ~id/
      * post.yaml
      * delete.yaml
* schemas/
  * User.yaml
```

Exemplo 2.18: Exemplo de estrutura dos ficheiros para gerar o documento de especificação *OpenAPI*

Assim, o `!!inc/dir` fará que no ficheiro *index.yaml* na *tag* *paths* sejam incluídos todos os ficheiros que estão na pasta *paths*. Cada ficheiro corresponderá a uma determinada rota com um determinado método *HTTP*. O método *HTTP* é definido a partir do nome do ficheiro e o caminho da rota é determinado pelo nome das pastas e do aninhamento destas. Quando o nome da pasta é iniciado por “~” no caminho será colocado o nome da pasta sem o til entre chavetas (“{”) por forma a indicar um parâmetro que é colocado no caminho do pedido.

Já no caso do `!!inc/dir` dos *schemas* a opção `excludeTopLevelDirSeparator` permite que os ficheiros que estejam dentro da pasta *schemas* (mas não aninhados dentro de outras pastas) sejam incluídos sem qualquer aninhamento, assumindo o nome do ficheiro como o atributo a colocar.

O documento de especificação *OpenAPI* final gerado será:

```
openapi: 3.0.0
```

```

info:
  description: Esta é a API do projeto CLAV. Pode encontrar mais informação sobre o CLAV em [
    http://clav.dglab.gov.pt](http://clav.dglab.gov.pt).
  version: 1.0.0
  title: CLAV API
  contact:
    name: CLAV
    email: clav@dglab.gov.pt
servers:
  - url: http://localhost:7779/api
    description: Local API server
paths:
  /classes:
    get:
      <conteúdo do ficheiro paths/classes/get.yaml>
  /users/{id}:
    post:
      <conteúdo do ficheiro paths/~id/post.yaml>
    delete:
      <conteúdo do ficheiro paths/~id/delete.yaml>
components:
  schemas:
    User:
      <conteúdo do ficheiro schemas/User.yaml>

```

Exemplo 2.19: Documento de especificação *OpenAPI* gerado a partir do ficheiro *index.yaml* com o uso da *package* `yaml-include`

No final teremos um ficheiro no formato **YAML** com toda a documentação da API que poderá então ser usado para alimentar a documentação dinâmica *Swagger UI*.

O PROBLEMA E OS SEUS DESAFIOS

CONCLUSÃO

BIBLIOGRAFIA

- AMA. *Autenticação.gov - Fornecedor de autenticação da Administração Pública Portuguesa*, 1.5.1 edition, 12 2018.
- AMA. Autenticação.gov, 2019. URL <https://autenticacao.gov.pt/fa/Default.aspx>. Acessado a 2019-11-20.
- Auth0. Introduction to JSON Web Tokens, 2019. URL <https://jwt.io/introduction/>. Acessado a 2019-12-19.
- DGLAB. CLAV - Classificação e Avaliação da Informação Pública, 2019. URL <http://clav.dglab.gov.pt>. Acessado a 2019-12-15.
- Hal Lockhart, Thomas Wisniewski, Prateek Mishra, and Nick Ragouzis. *Security Assertion Markup Language(SAML) V2.0 Technical Overview*. OASIS, 7 2005.
- Alexandra Lourenço, José Carlos Ramalho, Maria Rita Gago, and Pedro Penteado. Plataforma CLAV: contributo para a disponibilização de dados abertos da Administração Pública em Portugal. Acessado a 2019-11-20, 7 2019. URL <http://hdl.handle.net/10760/38643>.
- Tim McLean. Critical vulnerabilities in JSON Web Token libraries, 3 2015. URL <https://auth0.com/blog/critical-vulnerabilities-in-json-web-token-libraries/>. Acessado a 2019-12-22.
- Passport.js. Overview, 2019. URL <http://www.passportjs.org/docs/>. Acessado a 2019-12-17.
- Jeff Petters. What is SAML and How Does it Work?, 8 2018. URL <https://www.varonis.com/blog/what-is-saml/>. Acessado a 2019-12-26.
- Sebastián E. Peyrott. *The JWT Handbook*. 0.14.1 edition, 2018.
- Ryan Pinkham. What Is the Difference Between Swagger and OpenAPI?, 10 2017. URL <https://swagger.io/blog/api-strategy/difference-between-swagger-and-openapi/>. Acessado a 2019-12-27.
- Kristopher Sandoval. Top Specification Formats for REST APIs, 3 2016. URL <https://nordicapis.com/top-specification-formats-for-rest-apis/>. Acessado a 2019-12-31.
- Swagger. What is Swagger?, 2019. URL <https://swagger.io/tools/open-source/getting-started/>. Acessado a 2019-12-27.
- Mika Tuupola. Bearer as an Alternative to JWT?, 8 2017. URL <https://appelsiini.net/2017/bearer-alternative-to-jwt/>. Acessado a 2019-12-22.

Ivan Vasiljevic. Adding Swagger To Existing Node.js Project, 8 2017. URL <https://blog.cloudboost.io/adding-swagger-to-existing-node-js-project-92a6624b855b>. Acessado a 2019-12-28.

NB: place here information about funding, FCT project, etc in which the work is framed.
Leave empty otherwise.