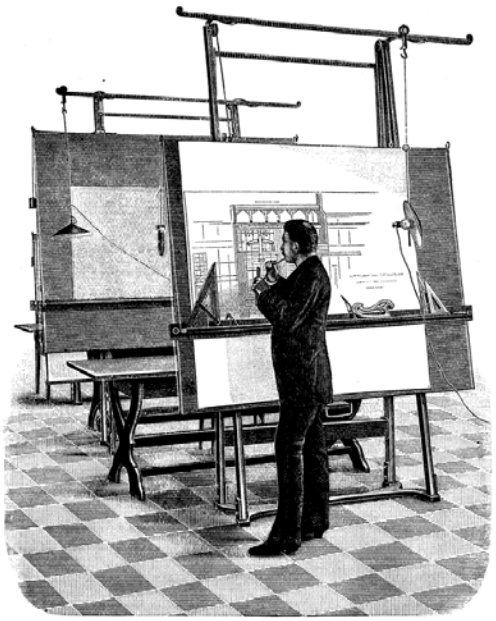
Метод Конечных Элементов в анализе сейсмической устойчивости Квартала «Помбалино»

S. Ivanova Morais[1,2], A.J. Morais[2], J.C. Fialho[2], A.D.Basto[2]

[1] Уральский государственный архитектурно-художественный университет (УрГАХУ)
[2] Факультет Архитектуры Лиссабонского Университета, Португалия



1. Введение

Потенциал современной вычислительной реальности изменил методологии подхода к архитектурному проектированию и структурному расчету не только современных проектируемых зданий , но также позволил пересмотреть работы из прошлого, изменив представление о его функционировании, а именно, о влиянии определенных архитектурных и градостроительных решений на структурные и сейсмические характеристики отдельных зданий и градостроительных единиц.

В данной статье представлены вычислительные расчеты поведения комплекса зданий, составляющих, так называемый, Квартал Помбалино, сформированный при реконструкции наиболее пострадавшей при землетрясении 1755 года центральной части Лиссабона, называемой сегодня «Байша Помбалина»

Особенность Квартала Помбалино в его специфической формальной конструкции «коробки» и в сейсмической реакции каждого из строительных элементов блока, которая была выявлена и определена сначала с помощью эмпирических рассуждений и натурных испытаний,
а в настоящее время мы попытались выявить и подтвердить ее с помощью компьютерного моделирования и рассчета.

Мы поставили цель доказать что:
Во – первых, эффективность градостроительной формы выбранной португальскими архитекторами
Во – вторых, что выбранная форма была не случайной и не простым подражанием просвещенческой традиции того времени, а осознанной в смысле сйсмической устойчивости.

Историческая справка

Лисабон до 1755 года

Гравюра 1732 года

Утром 1 ноября 1755 года в День всех святых люди собрались в церквях на миссу произошло землтресение

2. Через 15 минут Цунами

Пожары

Себастьян Жозе ди Карвалью-и-Мелу, граф ди Оэйраш, маркиз де Помбал

Премьер-министр Португалии, организовал беспримерные по масштабам и эффективности восстановительные работы, чем практически спас свою страну.

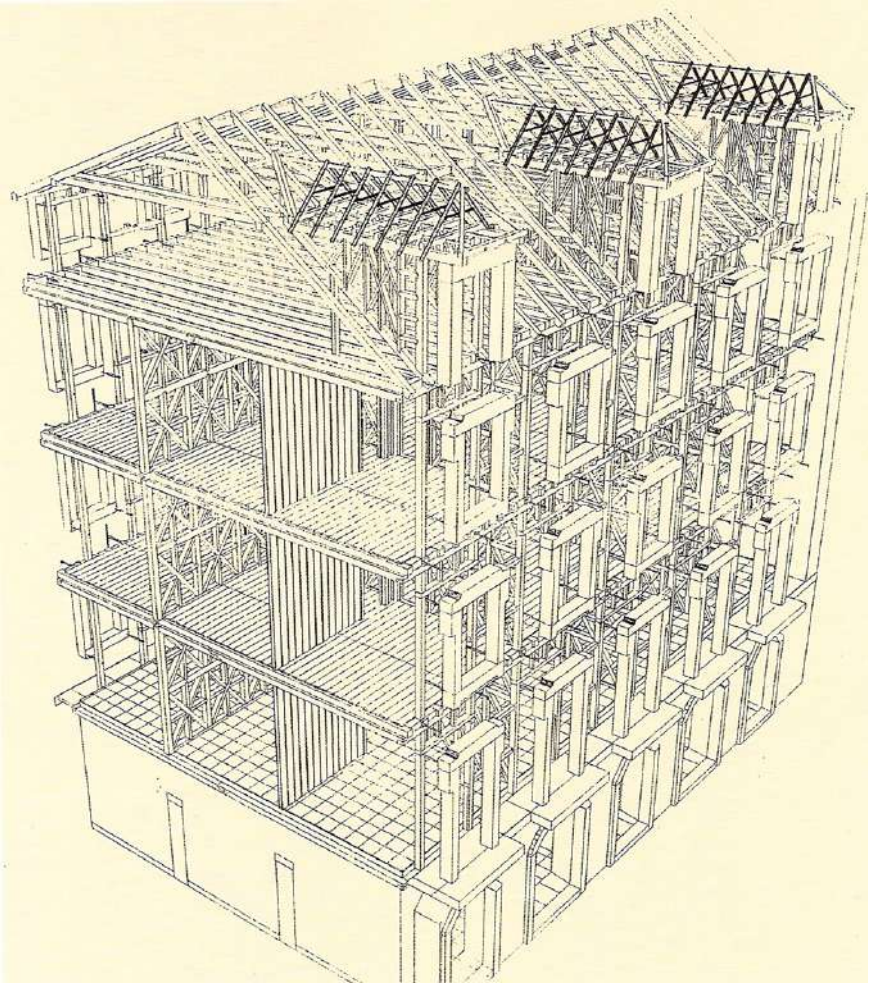
Чтобы вновь отстроенный город был защищен от землятресения
Необходимо было понять ОТ ЧЕГО ЗАЩИЩАТЬСЯ. ПОНЯТЬ ФЕНОМЕН. Знаний об этом не было.
(Кант предложил неверную терию).
Помбал имел 13 летний опытм Консула Португалии в Лондоне и Вене, разделял идеи Просвещения.

Инженеры стали изучать руины, разрушенный центр города стал лабораторией структурного анализа.
Осмотр и исследования разрушенных зданий позволил военным инженерам
узнать о характере и причинах обрушения зданий. Именно это понимание, полученное путем визуального анализа структурного поведения различных типов зданий, с различными реакциями разрушения, привело к разработке новой антисейсмической конструктивной системы Gaiola Pombalino.

Basilica de Santa Maria. La Cathedrale.

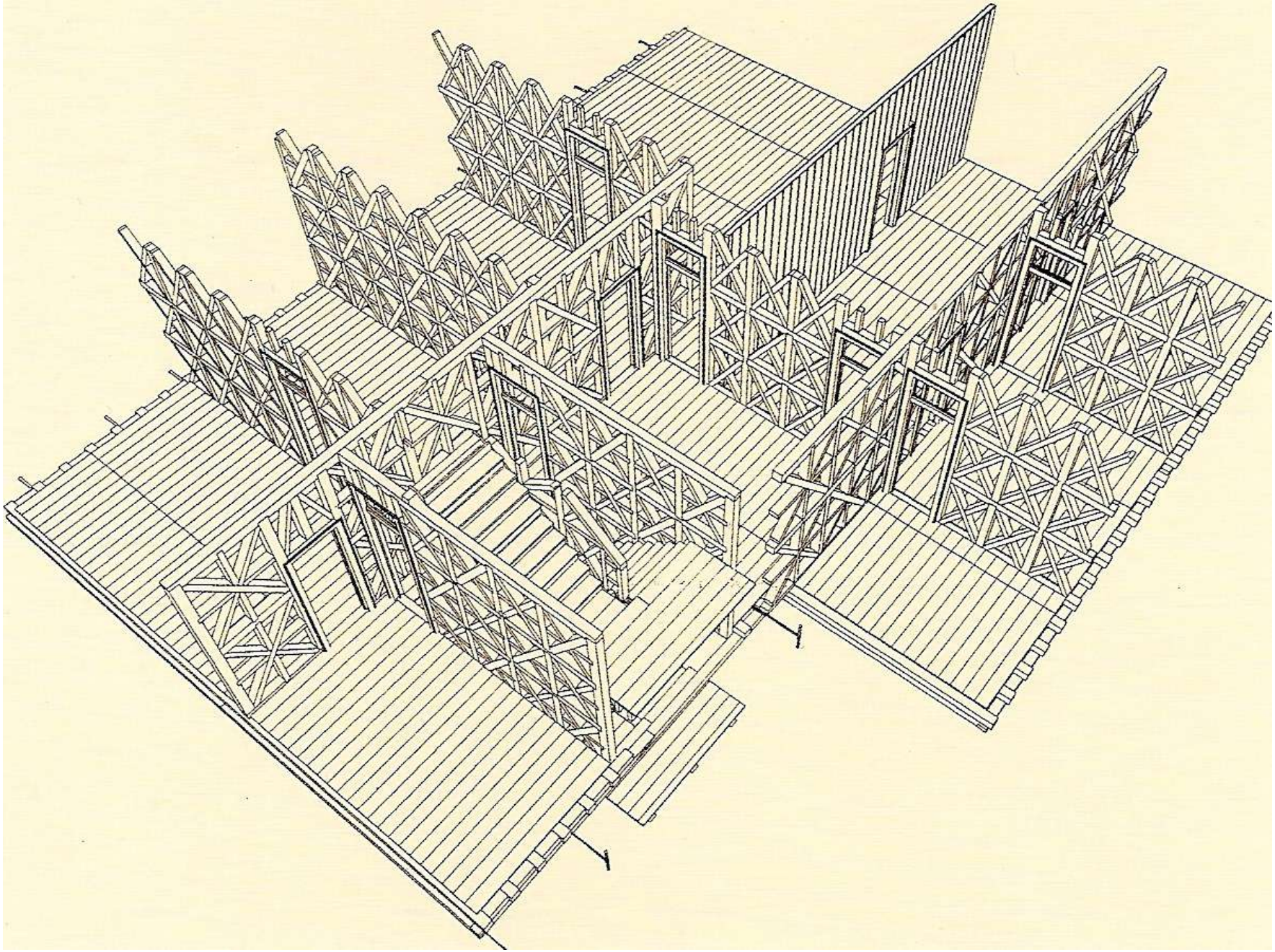
Монастырь Кармо. Его руины специально сохранили для потомков
Под его кровлей погребено больше 3000 человек

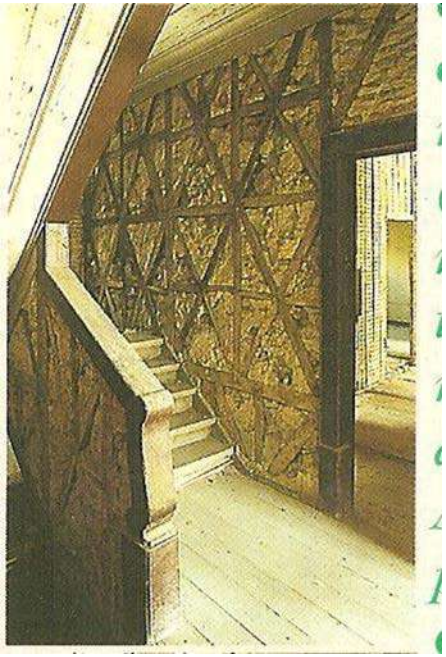
Построенный в начале 18 века акведут (водопровод) устоял при землятресении

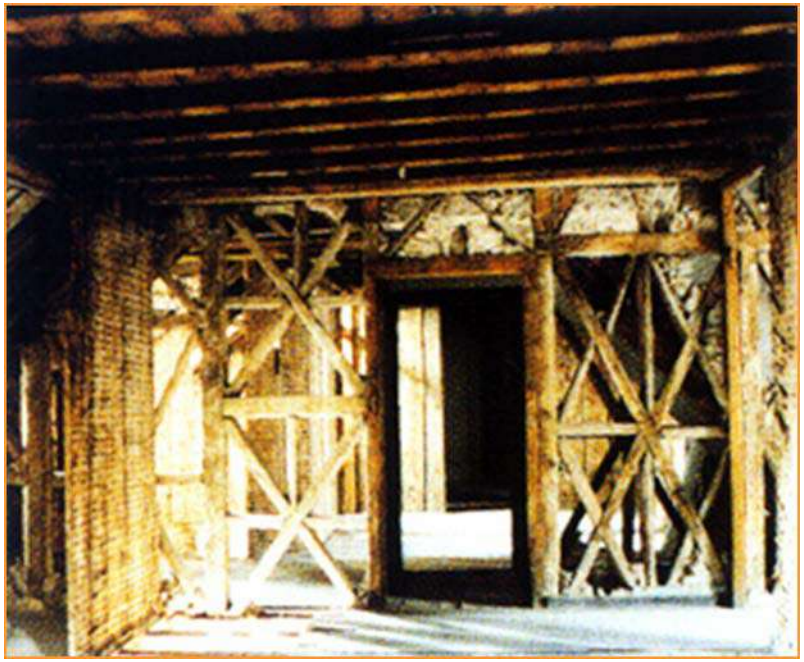


GAIOLA POMBALINA

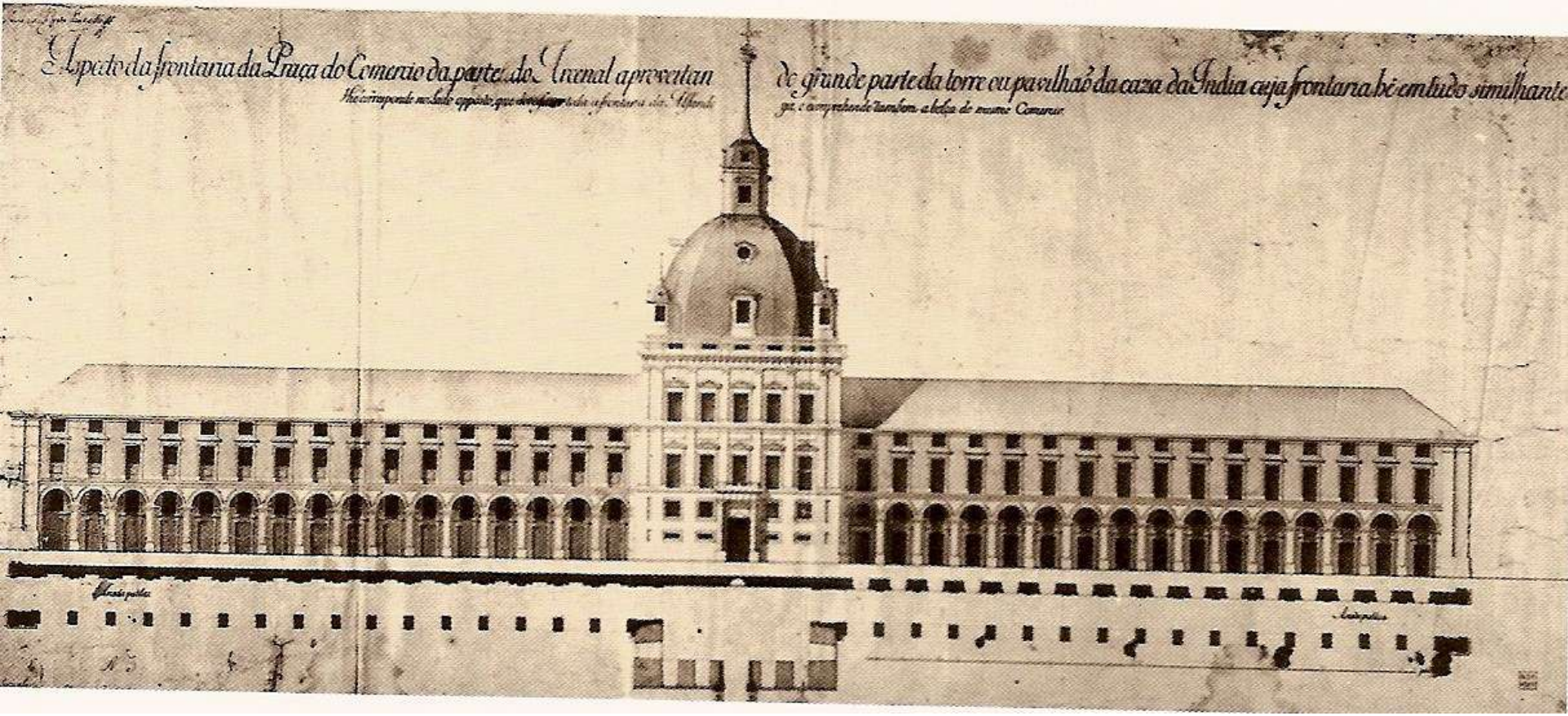
«Клетка» Помбала

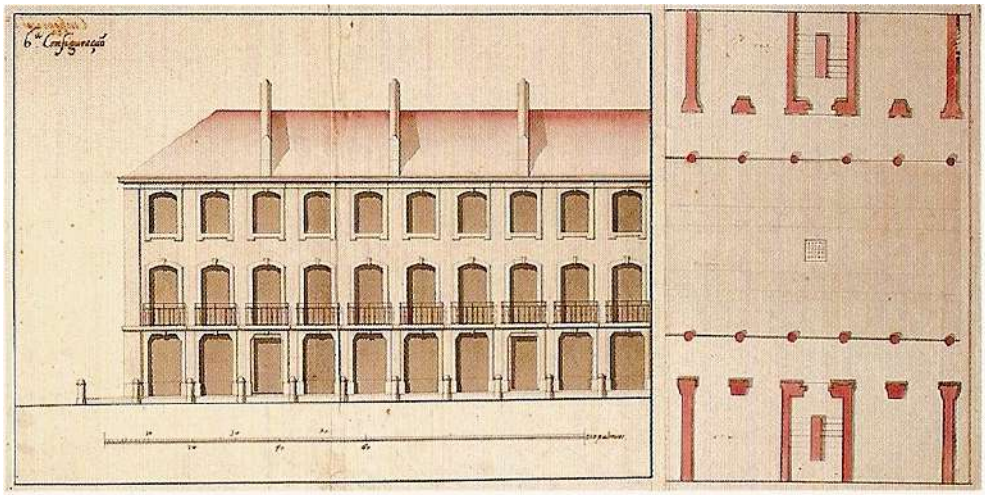


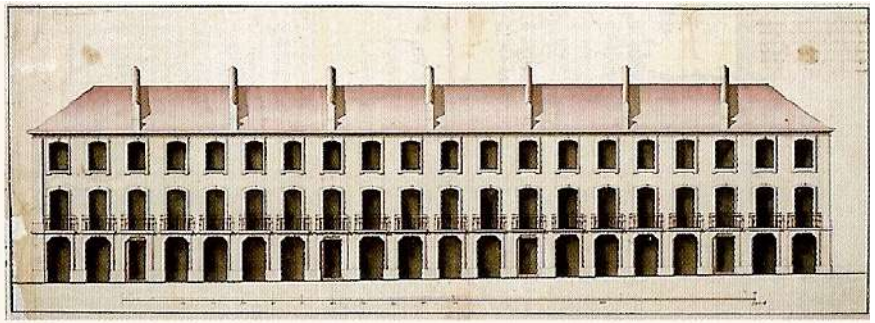


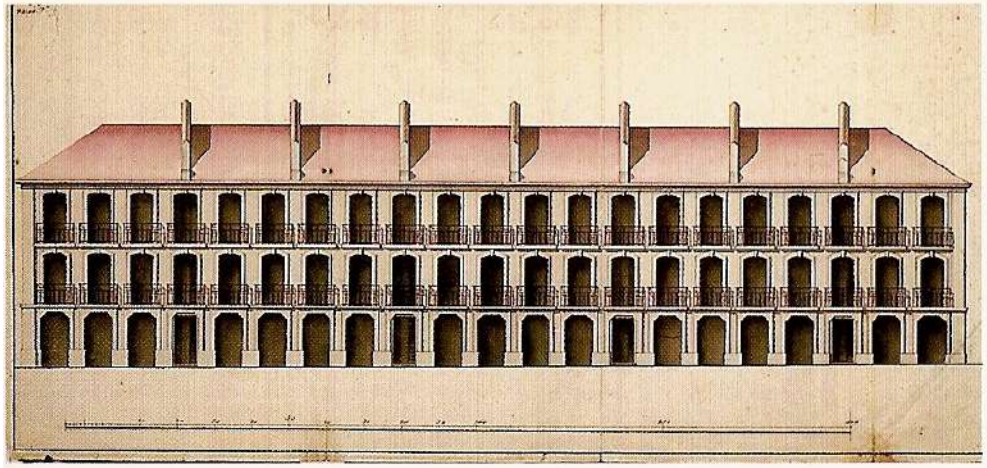


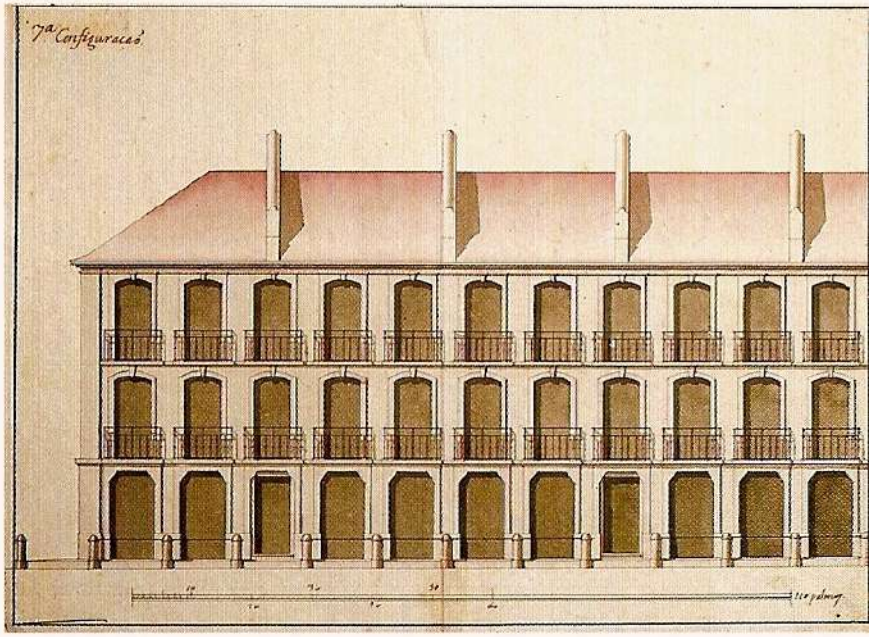
При реконструкции зданий Помбалино открывается структура
деревянной прошивки крестообразных деревнных элементов


Aspecto da frontaria da Praça do Comercio da parte do Arsenal apresentan
de grande parte da torre ou pavilhão da caza da India cuja frontaria he emtudo similhante


6.a Configuração






7.a Configuração

Фрагмент внутренней деревянной «арматуры» стен Клетки Помбала

Fragment of internal wooden "Armature" of the walls Pombala Cages

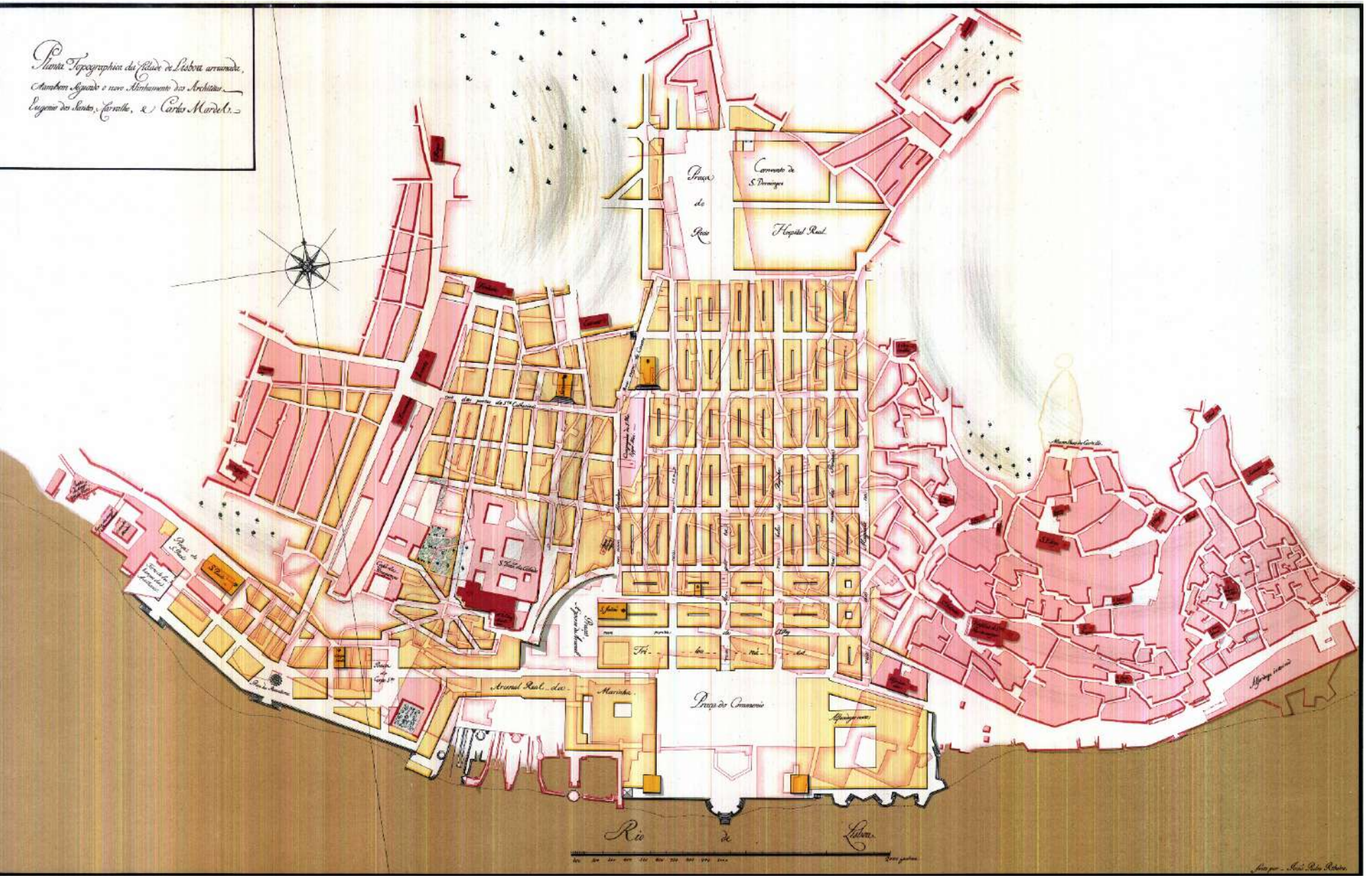
Фасады простой архитекруры Помбала

Facades of a simple Pombal architecture

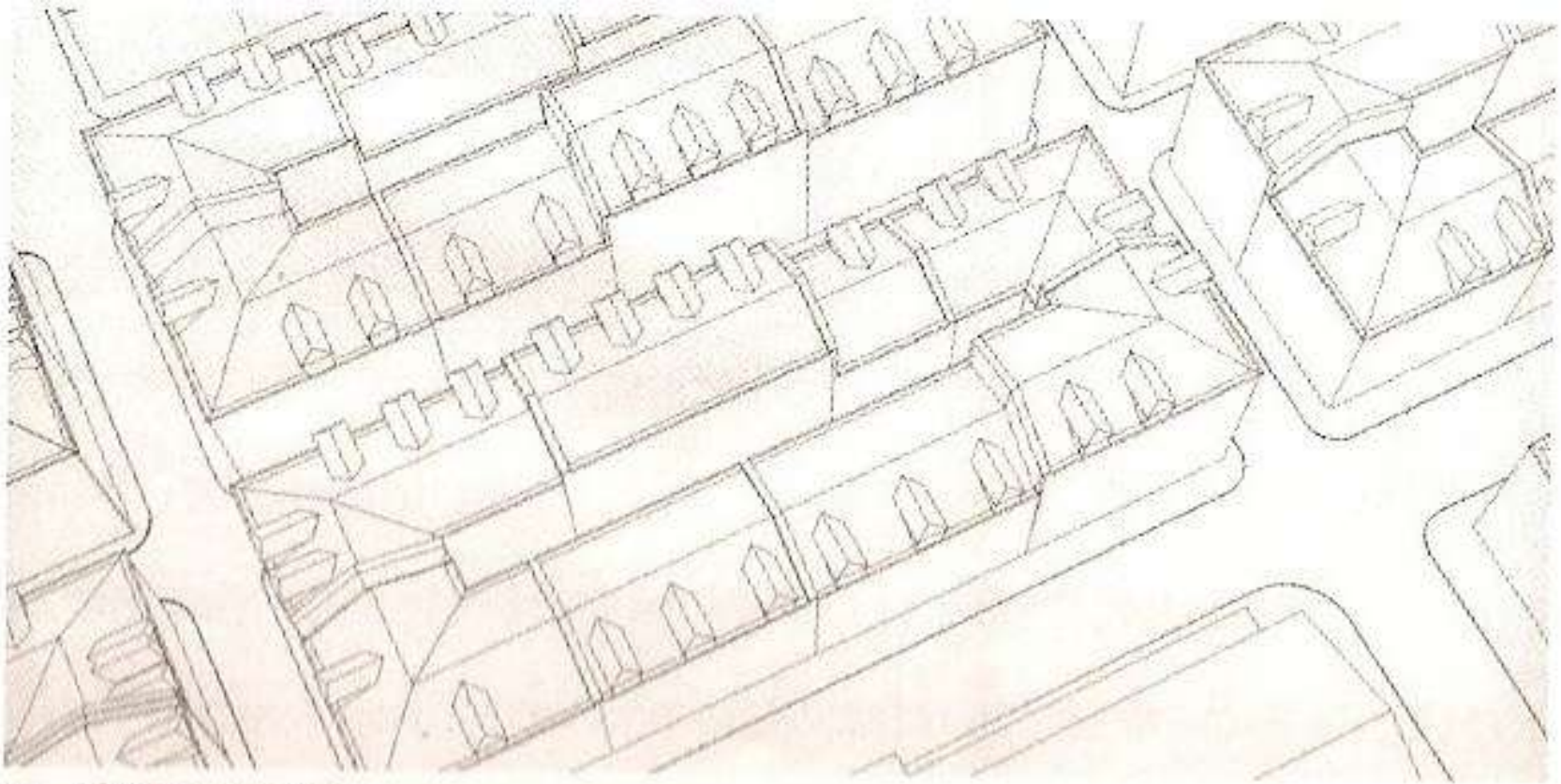
Для подтверждения своей теории о сейсмоустойчивости предложенной модели, эффективности предлагаемых конструктивных решений использовались только эмпирические экспериментальные методы, а именно, строились реальные модели в натуральную величину, а сейсмические воздействия на здание имитировали группы военных, маршируя по перекрытиям и раскачивая здание.

Из нескольких предложенных командой Мануэля да Майя планов был выбран один, принципы городского дизайна которого основывались на принятии базовой формы прямоугольника с фиксированными (типовыми) размерами.

Принятие этой модульной единицы привело к созданию нового центра Лиссабона как городского образа с симметричной, регулярной композицией, в результате повторения стандартного прямоугольника на разных улицах и почти всегда с одними и теми-же габаритными размерами. Улицы были построены параллельно друг другу в соответствии с двумя трассами: одна перпендикулярна реке (эта ось 3-х главных центральных улиц), а другая перпендикулярна первой.
Таким образом была получена сетка параллельных и перпендикулярных улиц, из которой глобальная композиция города симметрична с повторяющимися элементами.


Planta Topographica da Cidade de Lisboa arruinada,
Tambem segundo o novo Alinhamento dos Architectos
Eugenio dos Santos, Carvalho, e Carlos Mardel.
Praça do Rocio
Convento de S. Domingos
Hospital Real
Arsenal Real da Marinha
Praça do Commercio
Rio de Lisboa

Блочная застройка кварталов



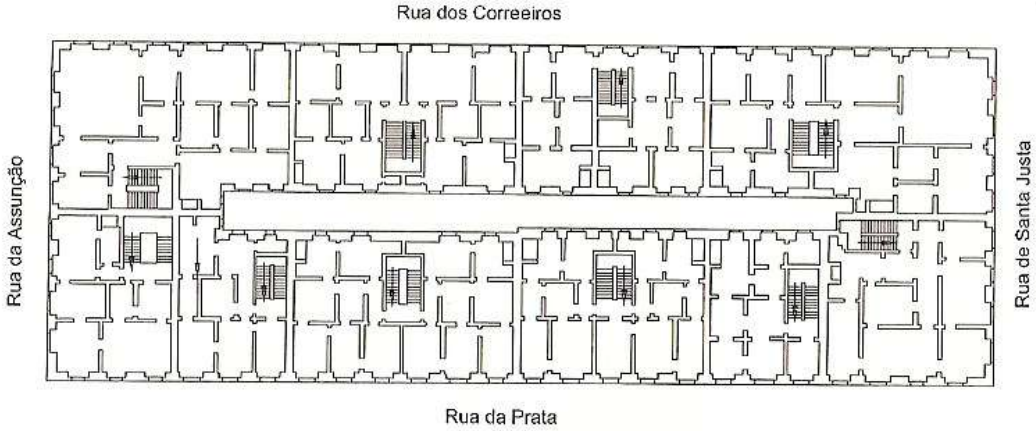
III-12 Quarteirões.

Типичный квартал состоит из зданий соединенных между собой в единый блок. Между зданиями, особено на уровне кровли выделяются высокие стены – перегродки. Это мера для того чтобы в случае возникновения пожара огонь не перекидывался от одного здания к другому

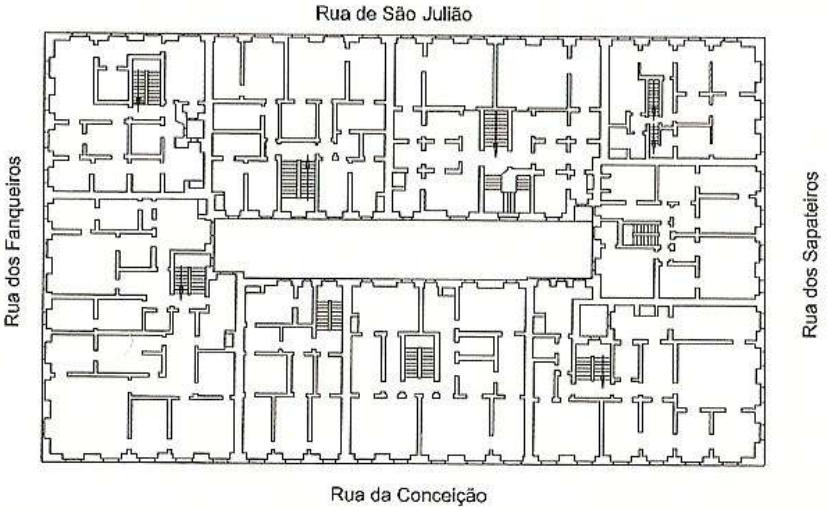
Блок жилых зданий

Блок административных зданий (Трибунал)

Quarteirão -БЛОК



III-14 Exemplo de quarteirão de habitação [14].



III-15 Exemplo de quarteirão dos tribunais [14].

Мы применили метод математических моделей, с помощью которого попытались качественно оценить сейсмическую эффективность формы *Quarteirão Pombalino* (*Квартала Помбалино)*, с его специфической конструкцией, а также вклад этой его конкретной конструкции в повышение индивидуальной безопасности каждого из зданий, составляющих Блок-квартал.

С тех пор, когда архитекторы Помбала предложили свою концепцию антисейсмическго градостроительства вычислительные технологии стремительно развивались , и в настоящее время МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ) является наиболее часто используемым численным методом для инженерных расчетов.
Это метод состоит из решения структурной системы путем разделения ее на конечное число элементов с заранее установленными геометрическими формами и свойствами.

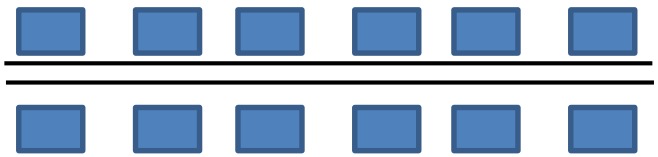
Его первоначальное применение было в основном для структурного анализа конструкций сложной формы, таких как плотины или самолеты, с использованием принципа баланса сил и матричного анализа.

Однако, учитывая его гибкость и мощность, МКЭ также позволяет исследовать сейсмическое поведение как отдельных зданий, так и целых городских кварталов, состоящих из нескольких зданий, для оценки сейсмической устойчивости города.

Используя потенциал МКЭ, авторы этой статьи провели исследование роли блока зданий (Квартала Помбалино) с его особой конструкцией в сейсмическом поведении центра Лиссабона.

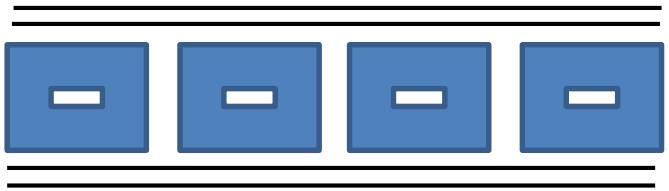
Рассмотрим 2 градостроительные модели:

<u>Линейная:</u>



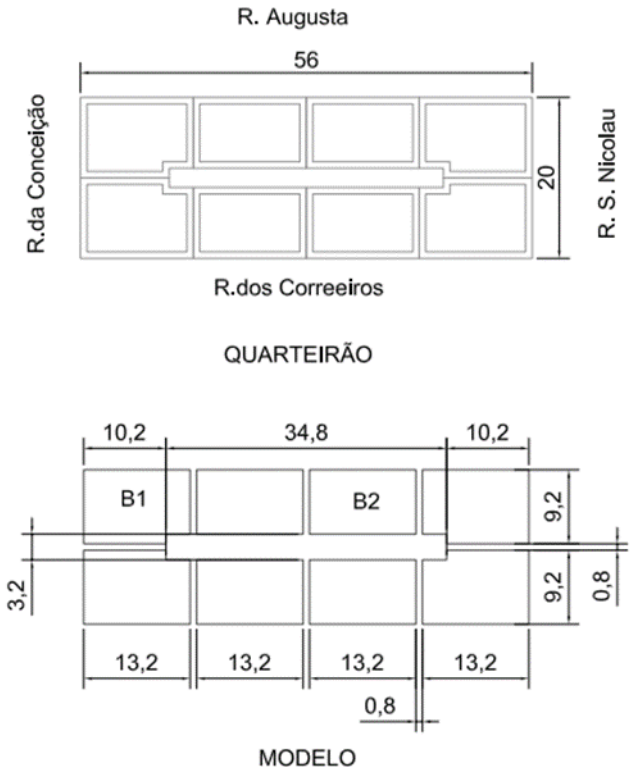
когда здания расположены вдоль одной улицы, с промежутками между ними или нет, но между зданиями другой параллельной улицей нет физической связи

<u>Квартальная:</u>

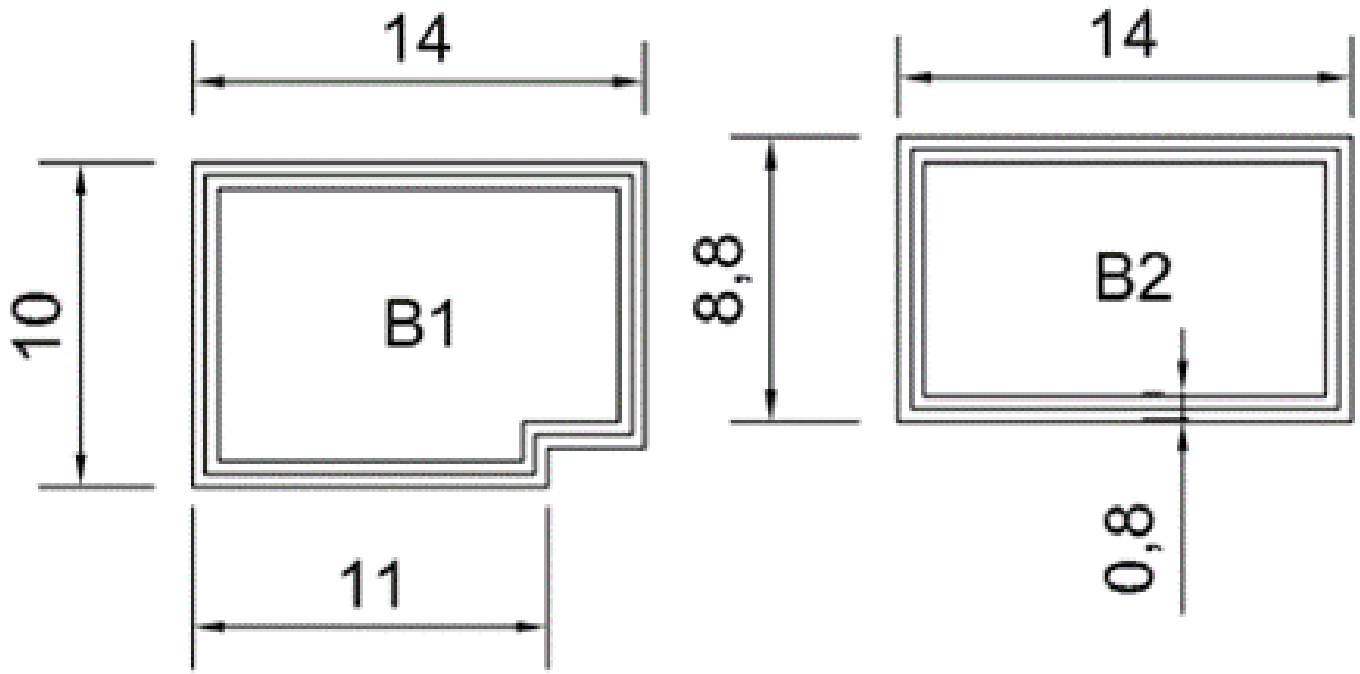


здания параллельных улиц имеют связь между собой

Принятая модель и характеристика Блоков зданий Quarteirão Pombalino: реальный типовой квартал:

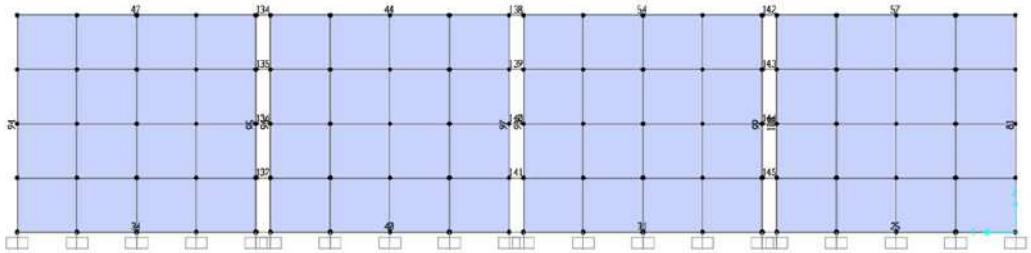


Для габаритных размеров зданий В1 и В2 , объединенных в блок, было принято, что они соответствуют зданиям высотой 12 метров, что характеризует здание, состоящее из первого этажа и трех верхних этажей. Также считалось, что его периферийное окружение представляет собой сплошные стены из простой кладки с постоянной толщиной 0,8 м



Автоматический расчет был выполнен с помощью программы SAP2000 v14.0.0 с использованием моделей модального анализа.

Модальный анализ проводился с использованием двух моделей, Ритца и собственных значений, с учетом только первых трех режимов (модулей).



Модальный анализ (от латинского ***modo*** - типаж, модель, характеристика)
Программа SAP
Упрощенный вкртикальный элемент : Мачта, закрепленная в грунте.
При землетрясении происходит движение грунта, эти сдвиги происходят в различных направлениях, в горизонлаьных и вертикальных. Это не разовые сдвиги, а многокрано повторяющиеся.

Статическое состояние	1	2	3

+ Фактор участия (процент или коэффициен влияния каждого из состояний)

Характеристики материалов

Основная трудность возникает из-за характеристики механических свойств конструкционных материалов, а именно из-за того факта, что поведение кладки не является эластичным для смещений, вызванных сейсмическим воздействием. Учитывая эту сложность, добавленную использованием программы автоматического расчета упругого анализа, было решено их упростить.

Для кладки приняты следующие характеристики:

$\sigma_{CMax} = 5MPa$; $\sigma_{TMax} = 0{,}5MPa$; $\nu = 0{,}2$; $\gamma = 20\ kNm^{-3}$; $E = 10GPa$; $\alpha_{atrito} = 11°$

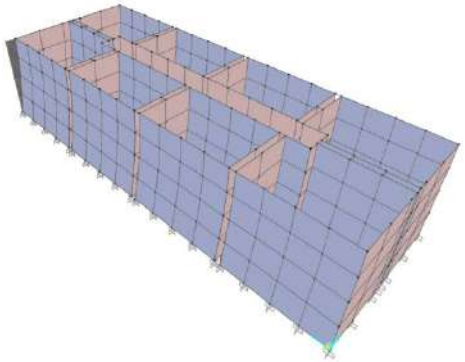
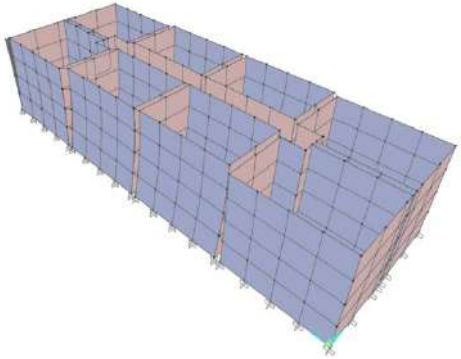
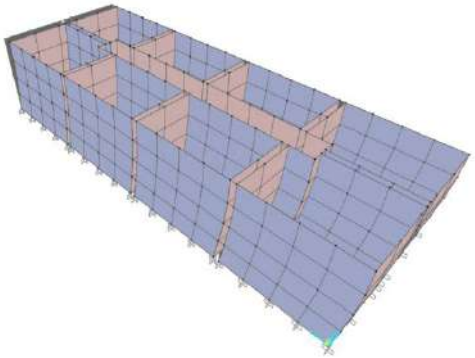
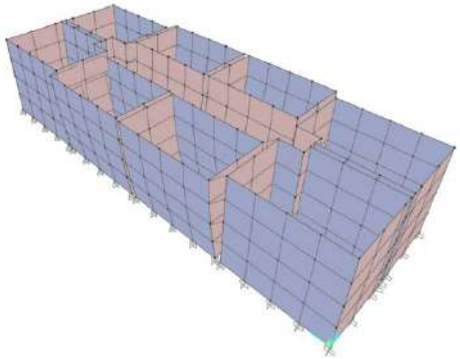
К узлам, соединяющим стены боковых фасадов, приняты те же характеристики текущей кладки.

Где : σ_{CMax} – напряжение разрушения сжатия;
σ_{TMax} – напряжение разрушения растяжения
ν -коэффициент Пуассона
γ – плотность ;
E – коэффициент эластичности
$\alpha_{\text{тр}}$ – коэффициент трения (сцепления)

РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1 - Горизонтальные смещения по верхнему уровню стен

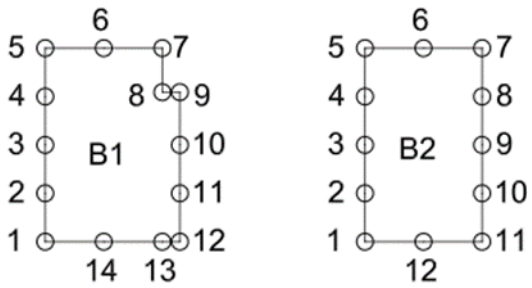
На основании результатов, полученных в моделях ii) и iii) 1-го этапа модального анализа, в соответствии с описанными выше характеристиками, были определены максимальные смещения **по высоте** в фасадных стенах Зданий. Что касается максимальных **горизонтальных** смещений, полученных в ходе этих анализов, похоже, что для рассмотренных допущений результаты показывают различия, не превышающие 4%, с ухудшением значений анализа Ритца

Модальный анализ Ritz	**Модальный анализ собственных векторов**
 Модель 1; Период = 2,74316 s	 Модель 1; Период = 2,74479 s
 Модель 2; Período = 2,68314 s	 Модель 2; Период = 2,74276 s

Максимальные перемещения в Зданиях В1 и В2

Что касается максимальных смещений, значения, полученные для точек, соответствующих венцу стен, представлены в обобщенном виде, потому что именно в них происходят максимальные смещения (Таблица № 1), являющиеся распределением узлов соединения в верх панелей, составляющих окружение зданий В1 и В2, согласно прилагаемой схеме.

МАКСИМАЛЬНЫЕ СМЕЩЕНИЯ В Здании В1					**МАКСИМАЛЬНЫЕ СМЕЩЕНИЯ В Здание В2**				
Узел	**Здание интегрированное**		**Здание изолированное**		**Узел**	**Здание интегрированное**		**Здание изолированное**	
	Δx_{Max} Мод. 1	**Δy_{Max}** Мод.2	**Δx_{Max}** Мод.1	**Δy_{Max}** Мод. 2		**Δx_{Max}** Мод. 1	**Δy_{Max}** Мод. 2	**Δx_{Max}** Мод. 1	**Δy_{Max}** Мод.2
1	0,0167	0,0169	0,0454	0,0457	1	0,0168	0,0169	0,0467	0,0471
2	0,0171	0,0169	0,0464	0,0457	2	0,0173	0,0169	0,0477	0,0471
3	0,0173	0,0169	0,0467	0,0457	3	0,0175	0,0169	0,048	0,0471
4	0,0171	0,0169	0,0463	0,0457	4	0,0173	0,0169	0,0477	0,0471
5	0,0166	0,0169	0,0452	0,0457	5	0,0168	0,0169	0,0467	0,0471
6	0,0166	0,0173	0,0452	0,0464	6	0,0168	0,0173	0,0467	0,0479
7	0,0166	0,0169	0,0452	0,0457	7	0,0168	0,0169	0,0467	0,0471
8	0,0169	0,0169	0,0459	0,0457	8	0,0173	0,0169	0,0477	0,0471
9	0,0169	0,0168	0,0459	0,0455	9	0,0175	0,0169	0,048	0,0471
10	0,0172	0,0168	0,0465	0,0455	10	0,0173	0,0169	0,0477	0,0471
11	0,0171	0,0168	0,0463	0,0455	11	0,0168	0,0169	0,0467	0,0471
12	0,0167	0,0168	0,0454	0,0455	12	0,0168	0,0173	0,0467	0,0479
13	0,0167	0,0171	0,0454	0,046					
14	0,0167	0,0173	0,0454	0,0466					



Анализ результатов показывает влияние вставки зданий в блок и соответствующую объемную пропорцию, позволяющую снизить горизонтальные смещения на уровне верха стен блоков, близкие к 300%. (Таблица № 2)

Здание B1		**Здание B2**	
$\frac{\overline{\Delta x}_{Max}\ (\text{bloco isolado})}{\overline{\Delta x}_{Max}\ (\text{bloco integrado})}$	$\frac{\overline{\Delta y}_{Max}\ (\text{bloco isolado})}{\overline{\Delta y}_{Max}\ (\text{bloco integrado})}$	$\frac{\overline{\Delta x}_{Max}\ (\text{bloco isolado})}{\overline{\Delta x}_{Max}\ (\text{bloco integrado})}$	$\frac{\overline{\Delta y}_{Max}\ (\text{bloco isolado})}{\overline{\Delta y}_{Max}\ (\text{bloco integrado})}$
~ 2,70	**~ 2,70**	**~ 2.77**	**~ 2, 78**

Таблица № 2

Таким образом, можно прийти к выводу, что Блок Помбалино (Quarteirão Pombalino) значительно увеличивает сейсмическую устойчивость каждого из отдельных зданий, что позволяет предположить, что принятие формального решения квартала в форме блока связанных между собой зданий военными архитекторами при реконструкции центра Лиссабона не было случайным, а имело техническое и конструктивное назначение для повышения сейсмостойкости каждого здания.

Наряду с системой Pombalino, разработанной для каждого здания с целью обеспечения сейсмостойкости отдельного здания, военные архитекторы осознавали общий эффект от принятия Блока с этим конкретным формальным дизайном для повышения сейсмической устойчивости центра Лиссабона.